

CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

7-8-9-Noviembre-2019

Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Año 2019, Número 1

ISSN: 2395-9649



CONGRESO AGENDA
Internacional de
INGENIERÍAS 2030

Información Legal

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Año V, Número I, noviembre 2019, es una publicación anual editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, Teléfono 01 232 323 1545, correo: congreso2017@itsm.edu.mx; página web: www.itsm.edu.mx, <http://pmii.itsm.edu.mx>, <http://pmii.itsm.edu.mx/documentos/memoriacii2019.pdf>. Editor responsable: MIA. Luis Enrique García Santamaría. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-102716093000-203 otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la maestría en Ingeniería Industrial ITSM, Dr. David Reyes González, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 19 de noviembre de 2019.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista electrónica del Congreso Interdisciplinario de Ingenierías 2019.

CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

Año 2019 | No. I



Subsecretaria de Educación Superior

**Dirección General de Educación Superior
Tecnológica**

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías

CII 2019

Directorio

Director General ITSM, México

Dr. José Roberto Arenas Martínez

Director Académico ITSM, México

Dr. Isidro Rodríguez Montoro

Director de Planeación y Vinculación ITSM, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Servicios Administrativos ITSM, México

Mtro. Honorato Pérez Antonio

Subdirector de Posgrado

MSC. Galdino Martínez Flores

Coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial ITSM, México

Dr. David Reyes González

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

MIA. Luis Enrique García Santamaría

DR. Roberto Ángel Meléndez Armenta

Comité de Revisión

Dr. Carlos Yosio Nakase Rodríguez

Dr. David Lara Alavazares

Dr. David Reyes González

Dr. Gregorio Fernández Lambert

Dr. Gustavo Martínez Castellanos

Dr. Isidro Rodríguez Montoro

Dr. Juan Manuel Carrión Delgado

Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo

Dr. Luis Mejía Macario

Dr. Mario Figueroa García

Dr. Mario Francisco Hernández Flores

Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta

Dr. Saul Santiago Cruz

Dr. Simón Pedro Arguijo Hernández

Dra. Fabiola Sánchez Galván

Dra. Laura C. Ruelas Monjardín

Dra. María Cristina López Méndez

MC. Joel Maurilio Morales García

MC. Sandra Guadalupe García Aburto

MC. Saul Reyes Barajas

MC. Vladimir Zagoya Juárez

MIA. Luis Enrique García Santamaría

MII. Carlos Ángel Vicente Rodríguez

MII. Gabriel Grosskelving Núñez

MII. Giovanni Luna Chontal

MII. Margarito Landa Zarate

MII. Marieli Lavoignet Ruiz

MII. Pablo Colorado Posadas

MSC. Irahram Otoniel José Guzmán

MSC. José Hiram Vázquez López

MSC. Fernando Alberto Hernández Guevara

Mtro. Humberto Raymundo González Moreno

Corrección de Estilo

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas Propiedad Intelectual CITT-ITSM,
México

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González ITSM, México

Distribución

Publicación electrónica disponible en:
<http://pmii.itsm.edu.mx/documentos/memoriacci2019.pdf>
Correo electrónico: cii2019@itsm.edu.mx

Introducción

El Congreso Interdisciplinario de Ingenierías es un espacio multidisciplinario anual del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, cuyo objetivo principal es compartir resultados de investigaciones científicas realizadas por estudiantes y académicos investigadores de los programas de ingeniería perteneciente al Tecnológico Nacional de México, Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior del país.

Las áreas de interés de esta primera edición están principalmente relacionadas con el mejoramiento de las PYMES y Decisiones Gerenciales. Así mismo, todos los trabajos están dirigidos a especialistas en las distintas áreas de interés. Los trabajos aceptados provienen de investigación experimental, descriptiva, análisis o inferencias, estudios de casos analizados mediante técnicas cuantitativas, cualitativas o una combinación de ambas. También se integran al documento trabajos basados en investigación bibliográfica que permiten un avance en el estudio del tema.

Esta publicación está dirigida al público en general con interés en las temáticas expuestas, y se espera sirvan de referencias para nuevos trabajos de ingeniería.

Contenido

Sistema Experto para Predecir la Deserción Escolar con Inteligencia Artificial	.....	1-9
<i>Aarón Montiel Rosales¹, PI. Nayeli Montalvo Romero², PI.</i>		
Monitoreo de un sistema fotovoltaico con registro de variables para abastecimiento eléctrico a dispositivos móviles haciendo uso de (IoT).	.....	10-16
<i>Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC. MIDS. Adrián Chávez Cruz, MER. Jorge Alberto Azuara Jiménez, MC. Jairo García Domínguez.</i>		
Estudio de localización y distribución de planta para una maquiladora de productos textiles de la región de Misantla, Ver.	.....	17-26
<i>Edwin Daniel Méndez Cruz, LA. César Argüelles López, MII.2. Miguel Ángel López Ramírez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental3. Ligia Herrera Franco, MII.4.</i>		
Diseño de un sistema de seguridad ocupacional y protección al ambiente para la producción de Termo Egg.	.....	27-33
<i>Cleotilde Anahí Álvarez Contreras, I, MII. Ana Roselyn Pérez Méndez², Maestra en Ciencias Ambientales. Elizabeth Salazar Hernández³, MC. Saúl Reyes Barajas⁴. MII. Mario Pérez Acosta⁵</i>		
Sistema Trazador de Curvas Voltaje Corriente con Ajuste y Estimación de Parámetros Usando Propuesta Metodológica	.....	34-42
<i>Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Profesor Investigador1.</i>		
Estudio de la localización de una planta productora de xilitol en México, a partir de olote de maíz bajo un esquema de desarrollo sostenible.	.....	43-52
<i>Mónica Paulina Lozano Rodríguez, Ing.1, Margarito Landa Zárate, MII.2, María Guadalupe Aguilar Uscanga, Dra.3</i>		
Caracterización geográfica de la zona de Jicaltepec, Veracruz para desarrollo de proyecto ecoturístico utilizando un Sistema de Información Geográfica		53-60
<i>Rafael Octavio López Marcos, Ingeniero Civil1, Dr. David Reyes González²</i>		
Tipificación del Calibre del Limón Persa con Simulación en ProModel	.....	61-70
<i>Nayeli Montalvo Romero¹, Profesora-Investigadora. Constantino Gerardo Moras Sánchez², PI. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre³, PI. Aarón Montiel Rosales⁴, PI.</i>		
Usos de Tres Especies de Leguminosas Presentes en la Región Tropical de México	.....	71-77
<i>Francisco Enrique Cab Jiménez, IA., Ana María Pérez Maldonado, Ingeniero metalúrgico², Javier Francisco Enríquez Quiroz, IA³, Israel Robles Hernández⁴</i>		
Desarrollo de Software de Aplicación Para la Obtención de Empleo con Oficios Temporales En Coatzacoalcos, Veracruz.	.....	78-85
<i>M.I. Omar Eduardo Betanzos Martínez¹, M.I Karla Margarita Castilla Acosta², Alessandro López López³, Lino Pérez Romero, 4, Graciela Marina Argüelles Francisco, 5.</i>		
Diseño mecánico de un prototipo compensador de temperatura para bolsa de solución dializante	.....	86-93
<i>MII. Israel Robles Hernández, M.C.E. Isabel Lagunes Gómez*, M.A.I. Saúl Santiago Cruz, IMM. Ana María Pérez Maldonado.</i>		
Evaluación de la degradación de residuos de sorgo dulce utilizando consorcios microbianos obtenidos de microorganismos autóctonos	.....	94-100
<i>Argelia Alcántara Rincón, LII, Dr. Noé Montes García², Dr. David Reyes González³, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga⁴,</i>		
Técnicas de recolección inteligente de productos apícolas aplicadas en colmenas de la región de Misantla.	.....	101-106
<i>José Ignacio Morales Duran, Ingeniero Industrial1. Margarito Landa Zárate, MII.2. Sandra Guadalupe García Aburto, Maestra en Ciencias de la Ingeniería Administrativa 3. Marieli Lavoignet Ruiz, MII.4.</i>		
Efecto de la Música Clásica y Merengue en el Comportamiento de las Ondas Cerebrales Durante el Ensamble de un Producto a Base de Legos.	.....	107-113
<i>Ing. Lindsay Fernanda Nava Ornelas¹, MII. Ana Isela García Acosta², Dr. Jorge de la Riva Rodríguez³.</i>		
Evaluación De La Calidad Sensorial De Limón Persa En Cajas De Cartón Corrugado Pretratadas Con Tratamientos Superficiales Activos	.....	114-119
<i>Daniela Guadalupe Reyes Méndez¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Laura Lizbeth Martínez Parra³.</i>		

Clasificación de Inventarios ABC para una refaccionaria de autopartes. <i>Shefany Alvarez Vargas, MII¹, MIA. Luis Enrique García Santamaría², Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta³, MC. Sandra Guadalupe García Aburto⁴, Dra. Fabiola Sánchez Galván⁵.</i>	.....	120-127
Selección de beneficiarios de apoyo en sector gubernamental basada en técnicas bayesianas. Caso de estudio: Comisión Nacional Forestal <i>Luis Armando Rodríguez Aguilar, II.1, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez 2, MIA. Roberto Ángel Meléndez Armenta 3, MSC. Jorge Cruz Salazar 4</i>	.....	128-134
Help-Point <i>Carlos Arturo Espinoza Galicia, MDSI, Laura José Florencio 2, Noedwuin Fernández Florencio 3 Daniela Ameyalli Sánchez Rivera 4, Fernanda Martínez Barrera 5.3</i>	.....	135-141
Niveles de aprendizaje en niños con trastorno de espectro autista mediante el uso de un software educativo. <i>Castellanos Alor Zukey Amairani, Anaya González Diana Cristina</i>	.....	142-148
Localización y diseño de un centro de acopio de lima persa en la región Misantla. <i>Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, Ing.1, Ing. Manuel Alejandro Caraza Morales2, Ing. Leslye Yamileth Garrido Quintero3.</i>	.....	149-155
Diseño de un diodo Schottky de GaAs para altas Frecuencias <i>Pablo Córdova Morales1 y Luis Manuel Rodríguez Méndez2</i>	.....	156-166
Estudio técnico preliminar del proceso de producción de xilanasas a partir de bagazo de caña de azúcar bajo un esquema de desarrollo sostenible <i>Mariela Rodríguez Graatz, I.I.1, Dr. David Reyes González2, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga3.</i>	.....	167-175
Detección De Fallas En Baleros En Generadores De Baja Potencia Mediante Señales Vibroacústicas. <i>David Granados Lieberman¹, José Roberto Razo Hernández², José Guadalupe Barrera Valdés³, Fernando Jurado Pérez⁴</i>	.....	176-181
Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México <i>Ing. Javier Gómez Aguilar¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Dr. Saul Santiago Cruz³, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga⁴</i>	.....	182-191
Evaluación de tratamientos superficiales activos en la reducción de la pérdida de la calidad sensorial postcosecha de plátano (Musa paradisiaca, Var. Cavendish) <i>Ing. Nohemí Gallo Zamorano¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Damaris García Visiconti³</i>	.....	192-198
Identificación del raquis de maíz como material absorbente de hidrocarburos. <i>Nombre (s) Redonda Deceano Cesar Luis, Ing.1, C. Azucena del Carmen López Ruíz2, C. Nahún Hernández Sánchez3, C. Raúl García Hernández4</i>	.....	199-205
Internet de las Cosas aplicado a la medición del consumo de corriente eléctrica. <i>Carlos Arturo Espinoza Galicia1, Williams Gómez López2, Mario Escalante Cantu3, Anahi Angeles Hernández4, José de Jesús Reyes López5.</i>	.....	206-213
Competitividad y sustentabilidad con un enfoque de calidad en el sector productor de muebles de la región de Misantla, Ver. <i>Juan José Balderas Pérez, Ingeniero en Gestión Empresarial 1, Luis Carlos Sandoval Herazo, Doctor en Desarrollo Sustentable2, Graciela Elizabeth Nani González, Licenciada en Economía3, Elizabeth Delfín Portela, Ingeniera en Sistemas4. Fabiola Sánchez Galván, MII.5.</i>	.....	214-222
Contribución al mejoramiento del llenado de bultos en una planta procesadora de alimentos balanceados. <i>Félix Enrique Basilio Soto, Ing1, Ing. Ana Vianey Romero Hernández2, Ing. Mayra Barrera Hernández3, Ing. Rolando Hernández Gómez4, Dra. Yodaira Borroto Pentón5</i>	.....	223-231
Base de conocimiento de prácticas agrícolas codificada en Deep Learning para la producción de Lima persa <i>Lidia Arely Díaz-Hernández¹, Carlos Alexis Cano-Villa², Roberto Ángel Meléndez-Armenta³, Eddy Sánchez-DelaCruz⁵, Gregorio Fernández-Lambert^{1*}.</i>	232-236

<p>Sistema de medición y adquisición de datos para una estación meteorológica alimentada con energía solar <i>Adriana Paulina Aranzolo Sánchez¹, Eleazar Campero Ángeles², Pl. Jorge Alberto Azuara Jiménez³, Pl. Jairo García Domínguez⁴, Pl.</i></p>	<p>.....</p>	<p>237-246</p>
<p>Extracción de metabolitos secundarios a partir de plantas nativas de la región de Misanthla como repelente e insecticida orgánico contra el psílido asiático de los cítricos Diaphorina citri. <i>II. Levi Yornedy Nochebuena Sanchez¹, MII. Margarito Landa Zárate², IBQ. Irma Castillo Carmona³, Adriana Karina Rivas Fuentes⁴, Julia Martínez Grajales⁵, MII. Marieli Lavoignet Ruíz⁶</i></p>	<p>.....</p>	<p>247-253</p>
<p>Desarrollo de prototipo para la predicción de lluvias y monitoreo a través de una aplicación multiplataforma e IoT. <i>Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC. MIDS. Adrián Chávez Cruz, Ing. Rubén Omar Reyes López</i></p>	<p>.....</p>	<p>254-259</p>
<p>Value Stream Mapping aplicado en el procesamiento de Moringa oleífera: caso de estudio de una empresa Veracruzana <i>Luis Enrique García Santamaría, III, ISC. Elizabeth Delfín Portela², Dr. Juan Manuel Carrión Delgado³, Dra. Fabiola Sánchez Galván⁴, Lic. Elizabeth Nani González⁵.</i></p>	<p>.....</p>	<p>260-268</p>
<p>Detección de la enfermedad “Mancha de hierro” en hojas del cafeto utilizando Redes Neuronales Convolucionales <i>Balzhoyt Roldán Ortega, ISC1. Cecilia Irene Loeza Mejía, ITICS2. Rajesh Roshan Biswal, Doctor en Ciencias 3.</i></p>	<p>.....</p>	<p>269-274</p>
<p>Estrategia de implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2G en la planta piloto del ITVER <i>IBQ. Yerania Salinas Sarabia 1, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga², Dr. Javier Gómez Rodríguez³.</i></p>	<p>.....</p>	<p>275-282</p>
<p>Aplicación de SLP como diagnóstico de una planta piloto productora de Bioetanol de 1ra generación acoplada a una de 2da generación. <i>Paulina Hoz Jáuregui¹, Ing. Industrial, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga³</i></p>	<p>.....</p>	<p>283-290</p>
<p>Infraestructura de medición de parámetros del lago de Chapala mediante IoT. <i>Julio César Chávez Novoa, MTP¹, MSC. Francisco Javier Luis Juan Barragán², MGTI. Miguel Ángel Delgado López ³.</i></p>	<p>.....</p>	<p>291-299</p>

Sistema Experto para Predecir la Deserción Escolar con Inteligencia Artificial

Aarón Montiel Rosales ¹, Nayeli Montalvo Romero ², MII.

¹ Aarón Montiel Rosales, es PI. de la División de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón, Purísima del Rincón, Guanajuato. aaron.mr@purisima.tecnm.mx.

² Nayeli Montalvo Romero, es Profesora-Investigadora de la División de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón, Purísima del Rincón, Guanajuato. nayeli.mr@purisima.tecnm.mx.

Resumen—La deserción escolar, es considerada como el abandono de la formación profesional por parte del estudiante; sin embargo, por diversas situaciones este objetivo se ve truncado, *e.g.*, bajo desempeño académico, falta de apoyo económico, embarazos no deseados. Es idóneo que el estudiante que esta propenso a perder su calidad como estudiante sea identificado, canalizado y atendido por el área correspondiente, sin embargo, este análisis es complejo al implicar emociones, situaciones y comportamientos humanos, por lo que el estudio presenta un sistema experto basado en Redes Neuronales Artificiales capaz de predecir si un estudiante continuará o no con su formación profesional a nivel profesional, a partir de diversas variables de su contexto. Para la construcción del sistema se conformó una *BigData* con los expedientes académicos, posteriormente se aplicó un Análisis de Componentes Principales para determinar la significancia de las variables, finalmente se determinó la configuración óptima de la Red Neuronal Artificial Multicapa que mejor ajusta los valores observados con los esperados. El estudio desarrollado arroja que las variables de impacto son: con quien vivirá durante los estudios, estado civil y carrera; con una significancia sobre la variable de interés de más del 80.00%. El sistema experto presenta una eficiencia del 90.90%.

Palabra(s) clave—Sistema Experto, Redes Neuronales Artificiales, Patrones de Comportamiento, Deserción Escolar.

Abstract – School dropout is the abandonment of vocational training by the student; however, by various situations this objective is truncated, *e.g.*, under academic performance, lack of financial support, unwanted pregnancies. It is ideal that the student who is prone to lose his or her quality as a student is identified, channeled and attended by the corresponding area, however, this analysis is complex by involving emotions, situations and human behaviors, so the study presents an expert system based on Artificial Neural Networks capable of predicting whether or not a student will continue with their professional training at the professional level, based on various variables of their context. For the construction of the system a *BigData* was formed with the academic records, subsequently a Main Component Analysis was applied to determine the significance of the variables, finally the optimal configuration of the Network was determined Artificial Multilayer Neural that best adjusts the observed values with the expected values. The study developed shows that the impact variables are: with whom you will live during studies, marital status and career; with a significance on the interest variable of more than 80.00%. The expert system has an efficiency of 90.90%.

Key words – Expert System, Artificial Neural Networks, Behavior Patterns, School Dropout.

1. Introducción

La UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*), concibe a la educación como un derecho humano para todos a lo largo de la vida, siendo esta la mejor inversión para alcanzar un futuro sostenible. En septiembre del 2015, cuando se aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible la comunidad internacional reconoció que la educación es fundamental para el éxito de los 17 objetivos escogidos. El programa busca erradicar la pobreza mediante el desarrollo sostenible. En el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, se plasma de manera esencial la ambición en el ámbito de la educación, siendo esta “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (CEPAL, 2016).

En México, según la INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) en su Encuesta Intercensal 2015 se tiene que el 15.00% de la población concluye el nivel primario, el 23.70% la secundaria, el 21.70% el nivel medio superior y finalmente, el 18.60% el superior; siendo este último nivel el que impulsa el desarrollo tecnológico del país. En el ciclo escolar 2016-2017 el Tecnológico Nacional de México (TecNM) matriculó a un total de 581,835 estudiantes, de los cuales 576,614 pertenecieron a nivel licenciatura, 4,158 a maestría, 692 a doctorado, 115 a especialización y 256 TSU (Técnico Superior Universitario). A nivel nacional el TecNM en el 2018 mostró una participación en la Educación Superior con una matrícula de 13.11%, una participación en licenciatura de 14.09% y en posgrado una participación de 1.41%. La principal matrícula presente en el TecNM se efectúa a nivel licenciatura, siendo representada con el 99.10% distribuida en 43 programas de estudio. Según datos de la Dirección de Planeación y Evaluación del TecNM al 2017 se presentó una eficiencia terminal del 58% a nivel nacional. El logro de un futuro sostenible a través del Objetivo de

Desarrollo Sostenible 4, bien puede ser apoyado al encausar todos los esfuerzos en formar profesionistas íntegros, tal y como lo establece la formación del TecNM.

Formar profesionistas que apoyen al desarrollo económico, social y cultural de la región, del estado y del país; es una meta en común de la sociedad, gobierno e Instituciones de Educación Superior (IES). Es por ello, el interés de los tres ejes en establecer estrategias para que la persona que decide formarse profesionalmente en una IES sea apoyada por medio de becas, infraestructura, empleos, entre otras. De manera interna las IES apoyan a los estudiantes, a través de becas, actividades extraescolares, asesorías académicas, programa de tutorías, por mencionar algunas. Siendo el programa de tutorías un eje importante en el desempeño del estudiante, para que éste culmine su formación profesional; bajo este contexto, un estudiante puede no concluir su formación debido a múltiples factores.

Las causas que influyen en el abandono escolar se pueden agrupar en los siguientes factores: personal (embarazo no deseado, falta de interés, fallecimiento de algún familiar, entre otras) (Jadue, 2002), económico (ingreso económico familiar insuficiente, trabajar) (Paramo y Correa, 2012), entorno familiar (falta de apoyo por los padres, desintegración familiar, entre otros) (Román, 2013), académico (proceso enseñanza-aprendizaje tedioso y austero) (Palacios y Andrade, 2007). La deserción escolar trae consigo la marginación de los desertores en lo económico, político, social y afectivo (Moreno, 2013), (Silvera, 2016) y (Herrera, 2009). En (Zuñiga, 2008) se presenta un enfoque que describe el comportamiento de la deserción estudiantil basado en la teoría psicológica, teoría ambiental, teoría económica, teoría organizacional y teoría interaccional. Con la intención de entender las causas de la deserción escolar, e implementar estrategias de retención se han desarrollado el Modelo de Spady en 1970, el Modelo de Fishbein y Ajzen en 1975, el Modelo de Ethington en 1990, el Modelo de Tinto en 1987, el Modelo de Bean en 1985 y el Modelo de Pascarella y Terenzini en 1985 (Pineda, 2010). El proceso de toma de decisiones, que sigue un estudiante al evaluar la alternativa de abandonar su formación profesional, está inmerso de por lo menos uno de los factores anteriormente expuestos. El ó los factores que influyen en la decisión del estudiante están basados principalmente en emociones y sentimientos, por lo que el análisis se torna complejo.

En la literatura existen aportaciones de herramientas pertenecientes al campo de la *Artificial Intelligence* (AI) que sirven de apoyo para eficientizar el desempeño del proceso enseñanza-aprendizaje, e.g., en (Troussas, 2019) se presenta un modelo híbrido de Identificación de Conceptos Erróneos (*Misconception Detection and Identification*, MDI), que incorpora *Fuzzy String Searching* y la *String Interpreting Preamble* para razonar los posibles conceptos erróneos de los s en el aprendizaje de un segundo idioma; un *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm* (NSGA-II) es presentado en (Garshasbi *et al.*, 2019) para mejorar el desempeño y la precisión de grupos de aprendizaje formados de manera óptima; (Alberola *et al.*, 2016), emplean la Generación Estructurada de Coalición (*Coalition Structure Generation*, CSG), el Aprendizaje Bayesiano y la Teoría de Roles de Belbin, para facilitar la integración de grupos de trabajo en un contexto educativo; en (Bajaj y Sharma, 2018) se propone una herramienta basada en AI que compara modelos de aprendizaje, y determina el modelo que maximiza la eficiencia del aprendizaje a partir de las necesidades y preferencias individuales del educando; se desarrolló en (Winker-Schwartz *et al.*, 2019) una *Machine Learning to Assess Surgical Expertise* (MLASE), la cual, apoya al campo de la educación quirúrgica asistida por el aprendizaje autónomo. En (Chassignol *et al.*, 2018), se presenta un enfoque de como la AI, ha estructurado el panorama educativo en cuatro categorías: contenido educativo personalizado, métodos de enseñanza innovadores, evaluación mejorada de la tecnología y, comunicación entre el y profesor.

El presente trabajo de investigación aborda el desarrollo de un sistema experto basado en *Artificial Neural Networks* (ANN's), que apoya en predecir si un estudiante tiene el riesgo de desertar de su formación académica, apoyando así, a expertos del área del comportamiento humano para implementar los controles necesarios. Así mismo, se aborda un análisis exhaustivo de las variables de impacto debido a que los modelos cambian a partir de las variables que son específicas a ciertos sectores.

2. Desarrollo

En la Figura 1, se presentan las fases implicadas en el diseño, desarrollo e implementación del sistema experto. La metodología propuesta se integra por cuatro fases: la *Phase I* conlleva definir las variables que conformaran el estudio a partir del conocimiento de expertos del comportamiento académico, y así determinar las entradas y salida de la *BigData*; posteriormente, la *Phase II* comprende integrar la información de los expedientes de estudiantes proporcionada por el Departamento de Tutorías de la IES bajo estudio a la *BigData*, una vez integrada se le aplica un análisis estadístico con la finalidad de identificar el efecto de los componentes principales; mientras que en la *Phase III*, se determina la configuración de la Red Neuronal Artificial Monocapa o Multicapa que mejor ajusta los valores observados a los esperados a partir del desempeño de la red; finalmente, en la *Phase IV* se aplica la herramienta desarrollada en la predicción de nuevos casos y su validación por expertos, conformándose así el sistema experto.

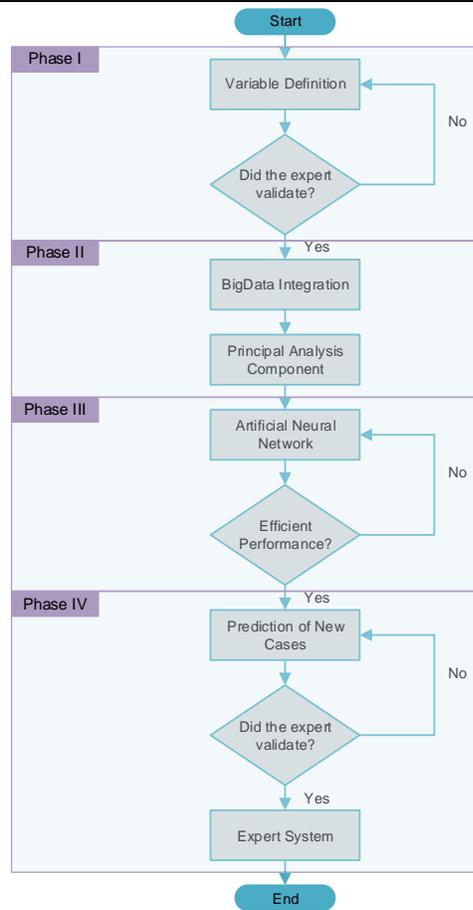


Figura 1: Fases de la Metodología empleadas en el Desarrollo del Sistema Experto

Fase I. Análisis de Variables

Esta fase implica analizar las causas y los factores a nivel nacional que provocan la deserción en el nivel universitario. Según los datos del INEGI en el censo de población realizado en el año 2000, estas son:

- Causas personales, que incluyen a aquellos individuos que no les gusto o no quisieron estudiar.
- Causas económicas, que agrupan a los s que por falta de dinero o porque tenían que trabajar tuvieron que abandonar sus estudios.
- Causas escolares, las cuales indican que los s no continuaron con sus estudios debido a que la escuela estaba muy lejos o no había.
- Causas familiares, que incluye a los s que ya no estudiaron por falta del apoyo familiar, porque ya no los dejaron o porque tenía que apoyar en las tareas del hogar.
- Causa de matrimonio y unión, en la cual se incluyen aquellos estudiantes que debido a que decidieron unir sus vidas con una pareja ya no continuaron sus estudios.
- Otras causas, éstas se pueden deber a diversas circunstancias entre las cuales se pueden incluir los servicios brindados por la institución, la capacidad de entendimiento en los temas abordados, entre otras.

Las anteriores causas se definieron como variables de deserción, siendo estas: carrera, semestre, sexo, número de integrantes de familia, vive con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, número de hijos, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, localidad de nacimiento, trabajo, becado, escolaridad del padre, y escolaridad de la madre. A partir de la identificación de las variables, estas se validaron por expertos (psicólogos, directivos institucionales, docentes, s, padres de familia), quienes establecieron las variables de entrada de interés en: carrera, sexo, número de integrantes de familia, viven con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, con quien vivirá durante los estudios, trabaja, profesión del padre, profesión de la madre, tipo de vivienda; siendo la variable de salida “¿continúo estudiando?”.

Fase II. BigData y PCA

Con las variables definidas por los expertos, se procedió a conformar la *BigData* de los expedientes proporcionados por el área de Tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón (ITSPR), la cual considera 227 expedientes de la matrícula escolar 2015 y 2016, esto debido a que el ITSPR inicia actividades académicas como un Tecnológico desincorporado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) en el año 2014.

Los valores de las variables se codificaron de forma cuantitativa, de manera tal, que estas se analizaran a través del *Principal Component Analysis* (PCA). El PCA, es una técnica estadística multivariada que analiza la base de datos en la que las observaciones son descritas por las diversas variables dependientes cuantitativas interrelacionadas (Abdi y Williams, 2010).

El objetivo del PCA, es extraer los patrones dominantes en la matriz en términos de conjuntos complementarios (Wold *et al.*, 1987), siendo muy probablemente la técnica de reducción de dimensiones más conocida y empleada (Jolliffe, 2011). Al analizar las correlaciones de la matriz conformada por las observaciones y las variables de entrada, se obtiene el análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación de la *BigData*.

Fase III. Construcción de la ANN

El campo de la AI, emana el intentar hacer pensar a las máquinas, *i.e.*, crear máquinas capaces de reaccionar, ante ciertas circunstancias. La AI, se ocupa entender cómo piensan las máquinas y emular esos comportamientos de manera artificial, a través del desarrollo de máquinas que piense tal y como piensa un humano (Nilsson, 1998). El campo de la AI incluye la lógica, probabilidad, y matemáticas continuas; percepción, razonamiento, aprendizaje, y acción; y todo, desde controladores micro-electrónicos hasta exploradores robóticos planetarios (Russell y Norvig, 2016). En (Vas, 1999), (Bäck, y Schwefel, 1993), (Nilsson, 1998) y (Tettamanzi y Tomassini, 2013) se presentan algunas de las principales técnicas empleadas en el campo de la AI, tales como las *Petri Nets*, *Expert System*, *Fuzzy Logic*, *Artificial Neural Networks*, *Evolutionary Computing*, *Genetic Algorithms*, *Genetic Programming* y *Chaos Theory*. Según (Haupt *et al.*, 2009), las técnicas de la AI pueden ser altamente eficientes en el reconocimiento de patrones, realizando regresiones para el propósito de predicciones, y optimizando soluciones para problemas complejos no lineales.

Las ANN's, se desenvuelven en el campo de la clasificación, la predicción, y en la determinación de patrones de comportamiento. Son una herramienta muy recomendable en casos reales, en donde, el procesamiento de información es masiva, imprecisa y distorsionada. Las ANN's, son "... redes computacionales que intentar similar, de forma significativa, las redes de las células nerviosas (neuronas) del sistema nervioso central biológico (humano o animal). Es una simulación célula por célula (neurona por neurona, elemento por elemento). Que toma el conocimiento neuropsicológico de las redes biológicas y de la configuración de las redes" (Graupe, 2013).

La aplicación de las ANN's, en la resolución de problemas, es simple, se parte de una base de datos - generalmente históricos-, la cual, típicamente está prescrita en variables de entrada, y variables de salida. Las variables de entrada, están conformadas por los factores y/o parámetros, que influyen significativamente en la(s) variable(s) de salida(s); y la(s) salida(s), es/son el/los factor(es) y/o parámetro(s) que se desea(n) predecir, clasificar y/o determinar su comportamiento. Por lo tanto, el objetivo es entrenar la red, de modo tal que, cuando casos nuevos sean presentados -entradas-, la red prediga el/los factor(es) y/o parámetro(s) deseado(s) -salida(s)-.

Para el caso bajo estudio, se prueban diversas configuraciones de ANN's evaluando el desempeño de cada una de estas, de manera tal que se determine una red con un desempeño asequible. Las ANN's se desarrollan en Matlab R2019a, empleando una *Feed Forward Back Propagation Net* (FFBPN), al tenerse los valores en la variable de salida, *i.e.*, entrenamiento supervisado; y por consiguiente se emplea como función de entrenamiento el Algoritmo de Retropropagación *Levenberg-Marquardt* (LM) debido a que actualiza los valores de peso y sesgo; mientras que, como función de aprendizaje de adaptación se emplea un *Gradient Descent with Momentum* (GDM), la cual, considera los gradientes anteriores para suavizar la actualización; y como función de desempeño de la ANN, se establece el *Mean Squared Error* (MSE), como medida promedio de los errores, *i.e.*, la diferencia al cuadrado promedio de los valores estimados y lo que se estima.

Debido a que se entrenan redes multicapa, la *BigData* es dividida en tres subconjuntos: el (a) subconjunto de entrenamiento, empleado para calcular el gradiente y actualizar los pesos y sesgo de la red; el (b) subconjunto de validación, el error de éste subconjunto se supervisa durante el proceso de entrenamiento, ya que cuando la red comienza a sobrentrenarse debido al sobreajuste de los datos, los pesos y sesgos de la red se guardan al mínimo error del subconjunto de validación; y el (c) subconjunto de prueba, el error de éste subconjunto no se emplea durante el entrenamiento, sin embargo es posible emplearlo para comparar diferentes modelos. Generalmente las proporciones para el entrenamiento, validación y prueba son del 70%, 15% y 15%, respectivamente (MathWorks, 2017).

Fase IV. Predicción de Nuevos Casos

La última fase comprende la implementación del sistema experto; para lo cual se extrae una muestra aleatoria representativa de la población bajo estudio, casos que no forman parte del entrenamiento, validación y prueba de la ANN. De los nuevos casos, se registra la información pertinente a las variables de entrada; para cada caso se predice la variable de salida, la cual a su vez es comparada con la salida real para cada caso.

3. Resultados

La aplicación de la *Phase I*, permitió determinar según los expertos las variables involucradas en la deserción escolar, a partir de los factores del INEGI (personales, económicas, escolares, familiares, de matrimonio y unión, y otras causas). Teniendo así un total de 17 variables; siendo 16 variables de entrada (carrera, sexo, número de integrantes de familia, viven con padre, vive con madre, número de hermanos, número de hermanas, compromiso escolar, lugar de nacimiento, estado civil, con quien vivirá durante los estudios, trabaja, profesión del padre, profesión de la madre, tipo de vivienda) y 1 variable de salida binaria (¿continúo estudiando?). El considerar la apreciación de los expertos en la determinación de las variables de interés, permite robustecer las variables a considerar por el sistema experto.

En la *Phase II* son definidas las variables de entrada y salida, integrada con la información de 227 expedientes de la matrícula escolar 2015 y 2016 del ITSPR; expedientes proporcionada por el Departamento de Tutorías. Al aplicarse el PCA sobre la *BigData*, se identifican los componentes principales de las variables que representan patrones de comportamiento en la deserción escolar, *e.g.*, en la Figura 2 se muestran las influencias de los dos primeros componentes principales, empleando Minitab 2018.

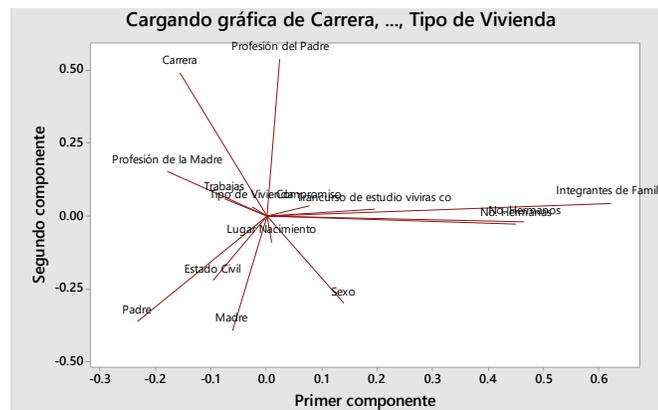


Figura 2: Gráfica de Carga para los 2 Primeros Componentes

Algunos factores que influyen significativamente en la deserción escolar, en el ITSPR son:

- Carrera (Carrera Profesional). Implica los resultados de la interacción entre la planeación de las metas relacionadas con el trabajo y la educación (Caldas *et al.*, 2014).
- Sexo. Viene determinado por la naturaleza, es una construcción natural, con la que se nace (Tubert, 2013).
- Número de integrantes de familia. Es un conjunto de individuos unidos por un parentesco (Gomes, 2001).
- Compromiso. Es el desarrollo de actos o acciones para concretar acuerdos y brindar confianza para presentar respuestas favorables (Campos, 2010).
- Estado civil. Es la situación personal en que se encuentra o no una persona física en relación a otra, con quien se crean lazos jurídicamente reconocidos (Ochoa y Oscar, 2006).
- Padre y Madre. Es compartir un proyecto de vida en la cual se explora todo lo relacionado con el desarrollo personal de sentimientos asociados a una necesidad de formar una familia (Givaudan y Pick, 2016).

En la *Phase III*, a partir de la información obtenida por el PCA, son probadas diversas configuraciones de ANN's que mejor ajusten los valores observados a los esperados a partir del desempeño de la red. La configuración que presentó mejor desempeño resultó ser una ANN multicapa: (a) una capa de entrada, la cual contiene las variables de entrada de interés; (b) tres capas ocultas, con 10 neuronas en la primera, 20 neuronas en la segunda y 20 neuronas en la tercera; y finalmente, (c) una capa de salida, que contiene la variable de salida

de interés. En la Figura 3, se presenta el desempeño de la mejor red encontrada; el estado del entrenamiento registrado por la red se muestra en la Figura 4; mientras que la regresión lineal de los estimados en relación a lo que se estima, se presenta en la Figura 5.

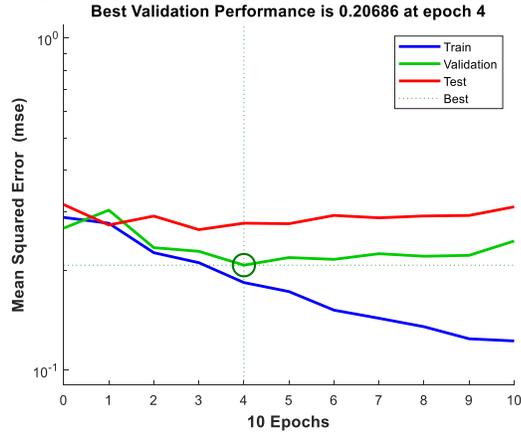


Figura 3: Desempeño de la Red

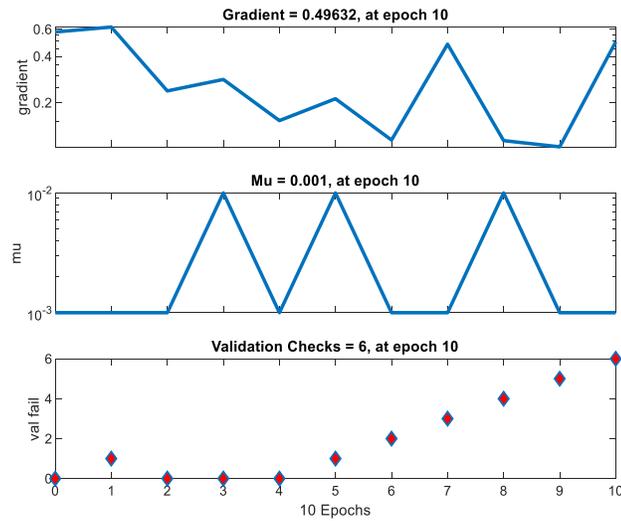


Figura 4: Desempeño durante el Entrenamiento

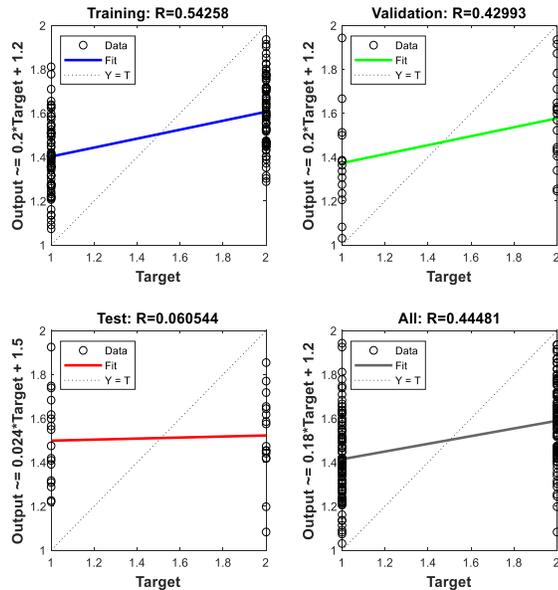


Figura 5: Regresión Lineal de los Estimados y lo que se Estima

Finalmente, en la *Phase IV* el sistema experto desarrollado es implementado, y al mismo tiempo es validado por los expertos en el comportamiento de la deserción escolar. En la Figura 6 se presentan los estimados y lo que se estima por la red, en esta gráfica se aprecia una eficiencia del 90.90% de la red en la predicción de la deserción escolar en 88 casos. Finalmente, en la Figura 7 se presentan las variables que influyen significativamente en la deserción escolar universitaria; siendo las principales: con quien vivirá durante el transcurso de los estudios, estado civil y la carrera seleccionada, representando el 83.02% que describen dicho patrón de comportamiento del caso bajo estudio.

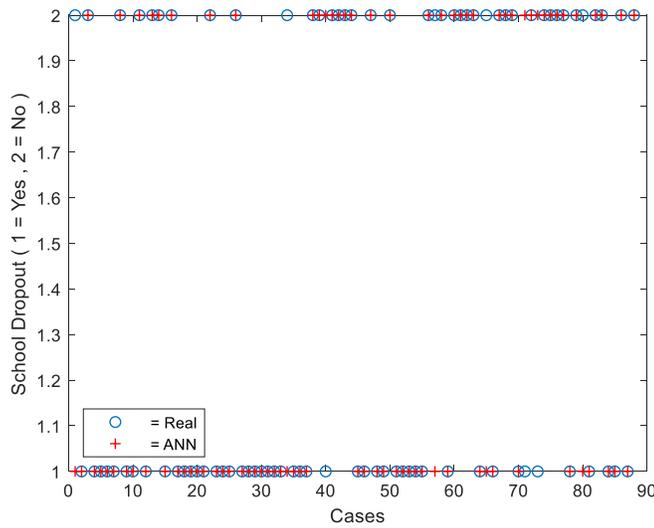


Figura 6: Desempeño del Sistema Experto en la Predicción de Nuevos Casos

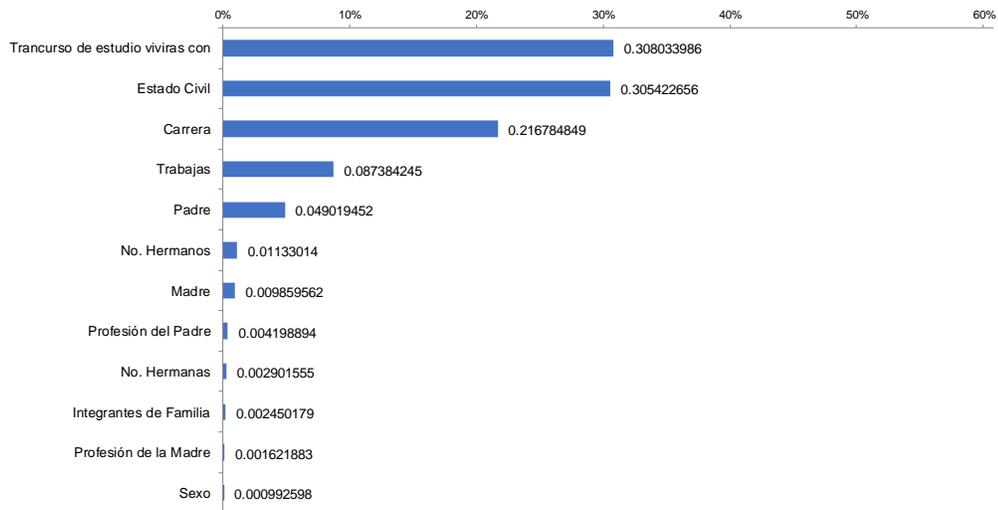


Figura 7: Variables de Impacto de la *BigData*

4. Conclusiones

El sistema experto inteligente desarrollado basado en una ANN multicapa y robustecido por el conocimiento de los expertos en deserción escolar, para predecir si un estudiante deserta o no del sistema del TecNM, a partir de las variables descriptivas del mismo es viable y eficiente, al presentar un desempeño en las predicciones ante nuevos casos del 90.90%. El empleo de la metodología propuesta, donde el sistema considera la experiencia de los expertos durante todo el proceso de diseño, desarrollo e implementación; valida en cada fase el sistema experto. Al mismo tiempo, el estudio permite identificar que para el sistema del ITSPR existen

16 variables que según los expertos influyen en la decisión de un estudiante en continuar o no con su formación académica.

Con la implementación del sistema experto inteligente se da apoyo al Departamento de Tutorías de la IES bajo estudio, con lo que se establecen estrategias adecuadas, *e.g.*, talleres de autoestima, cursos de nivelación académica, becas, que sirven de apoyo para que el estudiante, finiquite su formación profesional. Desde la implementación del sistema experto inteligente a la fecha se identificaron 20 estudiantes en riesgo de deserción, de los cuales 18 al ser canalizados se identificó de manera fehaciente que abandonarían su formación profesional; a los estudiantes, identificados se les dio acompañamiento puntual, y así recibir apoyo de las instancias pertinentes, *e.g.*, beca por parte de Servicios Escolares, apoyo psicológico por el Departamento de Tutorías, asesoría académica por el Departamento de Desarrollo Académico; evitando así que estos desertaran y actualmente continúan con su formación académica.

Es así, que la implementación del sistema experto como herramienta de detección, permite establecer estrategias de seguimiento y retención de estudiantes, para que estos concluyan su formación profesional y así apoyar al desarrollo de la región, del estado y del país. Como trabajo en desarrollo, el sistema se está robusteciendo con *Fuzzy Logic*, con la finalidad de modelar la subjetividad de los expertos del área del comportamiento en la deserción escolar.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Tecnológico Nacional de México por financiar el desarrollo del proyecto a través de la Convocatoria 2019: Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en los Programas Educativos de los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros; y al Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón por las facilidades prestadas para el desarrollo de la investigación.

5. Referencias

- Abdi, H. & Williams, L. J. (2010). Principal Component Analysis. *Journal WIREs Computational Statistics*. 2(4) 433-459.
- Alberola, J. M., Del Val, M., Sanchez-Anguix, V., Palomares, A. & Teruel, M. D. (2016). An Artificial Intelligence Tool for Heterogeneous Team Formation in the Classroom. *Journal Knowledge-Based Systems*. (101) 1-14.
- Bäck, T. & Schwefel, H.-P. (1993). An Overview of Evolutionary Algorithms for Parameter Optimization. *Journal Evolutionary Computation*. 1(1) 1-23.
- Bajaj, R. & Sharma, V. (2018). Smart Education with Artificial Intelligence Based Determination of Learning Styles. *Journal Procedia Computer Science*. (132) 834-842.
- Caldas, M. E., Castellano, A. & Hidalgo, M. L. (2014). *Formación y Orientación Laboral*. Madrid: Editex.
- Campos, A. (2010). *Violencia Social*. Costa Rica: Editorial de la UNED, ILANUD Naciones Unidas.
- CEPAL. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible—Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Naciones Unidas.
- Chassignol, M., Khoroshavin, A., Klimova, A. & Bilyatdinova, A. (2018). Artificial Intelligence Trends in Education: A Narrative Overview. *Journal Procedia Computer Science*. (136) 16-24.
- Garshasbi, S., Mohammadi, Y., Graf, S., Garshasbi, S. & Shen, J. (2019). Optimal Learning Group Formation: A Multi-Objective Heuristic Search Strategy for Enhancing Inter-Group Homogeneity and Intra-Group Heterogeneity. *Journal Expert Systems with Applications*. (118) 506-521.
- Givaudan, M. & Pick, S. (2016). *Yo papá, Yo Mamá*. México: Penguin Random House Grupo Editorial S.A. de C.V.
- Gomes, C. (2001). *Procesos Sociales, Población y Familia: Alternativa Teóricas y Emprícas en las Investigaciones sobre la Vida Doméstica*. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Graupe, D. (2013). *Principles of Artificial Neural Networks: Advanced Series on Circuits and Systems*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Haupt, S. E., Lakshmanan, V., Marzban, C., Pasini, A. & Williams, J. K. (2008). Environmental Science Models and Artificial Intelligence, In: Haupt, S. E., Pasini, A. and Marzban, C. *Journal Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences*: Springer Science & Business Media 3-13.
- Herrera, M. (2009). El Valor de la Escuela y el Fracaso Escolar. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 7(4) 254-263.
- Jadue, G. (2002). Factores Psicológicos que Predisponen al Bajo Rendimiento, al Fracaso y a la Deserción Escolar. *Revista Estudios Pedagógicos*. Valdivia. (28) 193-204.
- Jolliffe, I. (2011). Principal Component Analysis. *Journal International Encyclopedia of Statistical Science*. 1094-1096.
- MathWorks. (2017). *Neural Network Toolbox—User's Guide*. Massachusetts: The MathWorks, Inc. Natick.
- Moreno, D. M. (2013). La Deserción Escolar: Un Problema de Carácter Social. *Journal In Vestigium Ire*. 6 115-124.
- Nilsson, N. J. (1998). *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. San Francisco-California: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Ochoa, G. & Oscar, E. (2006). *Derecho Civil I: Personas*. Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
- Palacios, J. R. & Andrade, P. (2007). Desempeño Académico y Conductas de Riesgo en Adolescentes. *Journal de Educación y Desarrollo*. (7) 5-16.
- Paramo, G. & Correa, C. (2012). Deserción Estudiantil Universitaria—Conceptualización. *Journal Universidad EAFIT*. 35(114) 65-78.
- Pineda, C. (2010). *La voz del Estudiante: el Éxito de Programas de Retención Universitaria*. UNESCO-IESALC. Colombia: UNESCO-IESALC.
- Román, M. (2013). Factores Asociados al Abandono y la Deserción Escolar en América Latina: Una Mirada en Conjunto. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*. 11(2) 33-59.
- Russell, S. J. & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Ed. 3. Malasya: Pearson Education Limited.
- Silvera, L. M. (2016). La Evaluación y su Incidencia en la Deserción Escolar. *Journal Educación y Humanismo*. 18(31) 313-325.

- Tettamanzi, A. & Tomassini, M. (2013). *Soft Computing: Integrating Evolutionary, Neural, and Fuzzy Systems*. New York: Springer Science & Business Media.
- Troussas, C., Chrysafiadi, K. & Virvou, M. (2019). An Intelligent Adaptive Fuzzy-Based Inference System for Computer-Assisted Language Learning. *Journal Expert Systems with Applications*. (127) 85-96.
- Tubert, S. (2003). *Del Sexo al Género, los Equívocos de un Concepto*. España: Cátedra.
- Vas, P. (1999). *Artificial-Intelligence-based Electrical Machines and Drives: Application of Fuzzy, Neural, Fuzzy-neural, and Genetic-algorithm-based Techniques*. New York: Oxford University Press.
- Winkler-Schwartz, A., Bissonnette, V., Mirchi, N., Ponnudurai, N., Yilmaz, R., Ledwos, N., Siyar, S., Azarnoush, H., Karlik, B. & Del Maestro, R. F. (2019). Artificial Intelligence in Medical Education: Best Practices Using Machine Learning to Assess Surgical Expertise in Virtual Reality Simulation. *Journal of Surgical Education*. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2019.05.015>.
- Wold, S., Esbensen, K. & Geladi, P. (1987). Principal Component Analysis. *Journal Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2(1-3) 37-52.
- Zuñiga, M. G. (2008). *Deserción Estudiantil en el Nivel Superior Causas y Solución*. México: Editorial Trillas.

6. Notas Biográficas

El **MII. Aarón Montiel Rosales** es MII. por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México, actualmente se desempeña como PI. por el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón.

La **MII. Nayeli Montalvo Romero** es MII. por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México, actualmente se desempeña como Profesora-Investigadora por el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón.

Monitoreo de un sistema fotovoltaico con registro de variables para abastecimiento eléctrico a dispositivos móviles haciendo uso de (IoT).

Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC¹. MIDS. Adrián Chávez Cruz², MER. Jorge Alberto Azuara Jiménez³.
MC. Jairo García Domínguez⁴.

¹Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC, es de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. drg970118@gmail.com.

² El MIDS. Adrián Chávez Cruz, es Profesor de la división de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. achavez@iteshu.edu.mx

³ El MER. Jorge Alberto Azuara Jiménez, es Profesor de la división de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. jazuara@iteshu.edu.mx

⁴ El MC. Jairo García Domínguez, es Profesor de la división de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. jGarcía@iteshu.edu.mx

Resumen— El presente trabajo muestra el desarrollo e implementación de un prototipo de software y hardware haciendo uso de Internet de las Cosas que permite la medición y recolección de datos de un sistema fotovoltaico a través de diferentes sensores como la intensidad de corriente, voltaje, temperatura ambiente y humedad relativa recolectando información por medio de un servicio en la nube pudiendo consultar los datos generados y tratarlos desde cualquier dispositivo móvil, dicha información se visualiza en forma de gráfico o texto plano, conociendo a detalle el tiempo estimado de la batería, midiendo el consumo de energía diariamente, todo esto partiendo de un sistema fotovoltaico previamente instalado y la utilización de un sistema embebido, así como metodologías ágiles con la finalidad de conocer en tiempo real las lecturas de los sensores utilizados para determinar el abastecimiento que dicho sistema puede brindar a sus usuarios.

Palabra(s) clave— Software, fotovoltaico, sensores, IoT, hardware, dispositivo.

Abstract— This paper shows the development and implementation of a prototype software and hardware using the Internet of Things that allows the measurement and collection of data from a photovoltaic system through different sensors such as the intensity of current, voltage, ambient temperature and relative humidity collecting information through a cloud service being able to consult the generated data and process it from any mobile device, such information is displayed in the form of a graphic or text knowing in detail the estimated time of the battery, measuring the energy consumption daily, all this starting from a previously installed photovoltaic system and the use of an embedded system, as well as agile methodologies with the aim of know in real time the readings of the sensors used to determine the supply that said system can provide to its users.

Key words – Software, photovoltaic, sensors, IoT, hardware, device

1. Introducción

El aprovechamiento de las energías renovables es una solución viable para problemas que se presentan ante una situación en condiciones desfavorables de una zona o lugar específico. (Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030, 2016) El emplear más fuentes de energía renovable reduciría en gran medida los problemas que causa la dependencia a los combustibles fósiles. Sin embargo, una de las principales problemáticas que afecta al uso de energías renovables es la accesibilidad a la red de transmisión, y en países con mejores sistemas de redes y gran participación de energías renovables variables, el reto se encuentra en la administración de éstas, especialmente durante los picos de consumo.

El Departamento de Energía Solar Fotovoltaica (ESFV) tiene como objetivo principal la reducción del coste del kWh producido por medios fotovoltaicos. Es el punto intermedio entre la investigación básica y los entornos industriales de fabricación. (Energía Solar Fotovoltaica, s.f.). Se puede convertir en electricidad a través de sistemas de energía fotovoltaica de baja potencia, para aplicaciones portátiles como por ejemplo la carga de teléfonos móviles. La energía que estamos utilizando masivamente hoy día es, evidentemente, solar. Pero solar fósil. Carbón, petróleo y gas derivan de biomasa del Carbonífero, un periodo de la historia de la Tierra de hace unos 330 millones de años. Una parte muy pequeña de la energía solar capturada entonces se concentró en el subsuelo de ciertos lugares de planeta, y ahora la estamos disipando. Piensen que estamos consumiendo esa energía en no más de 200 años, cuando estuvo capturándose de la que llega constantemente del sol durante unos 20 millones de años: $20 \text{ millones} / 200 = 100000$ veces más. La tecnología fotovoltaica se

puede implementar en lugares donde se requieren ahorros en los consumos eléctricos o bien en zonas de difícil acceso al suministro de electricidad. (¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cómo funciona?, s.f.).

Se suele decir que uno de los problemas de la energía solar es que no se puede almacenar. Esto es radicalmente falso. Ante el creciente desarrollo tecnológico, la evolución en el consumo de diferentes aparatos entre ellos los dispositivos móviles, ha sido más acelerada que la evolución de las baterías que los energizan, por lo que el cargar de energía eléctrica a estos equipos se ha vuelto una necesidad. A nivel mundial, la mayor parte de la energía consumida se dedica a la producción de electricidad y al transporte, sector este último que muestra una tendencia al alza, creciendo porcentualmente cada año. (Carlos, 2008). En España el transporte representa alrededor del 40% del consumo de energía primaria y la electricidad algo más del 20%. El resto del consumo se distribuye entre el sector doméstico y los sectores productivos. Estos porcentajes son parecidos en casi todos los países desarrollados. En las islas Canarias estas cifras varían algo respecto a la media nacional, debido fundamentalmente al impacto del transporte marítimo y aéreo, al poco peso específico de la industria y a una mayor contribución del sector turístico. Se dedica aproximadamente un 24% de la energía primaria a la producción de electricidad y más del 72% al transporte (del cual alrededor de un 35% se dedica al transporte terrestre). Estas cifras varían considerablemente si se estima sólo el mercado interno, que es aquel que no contempla el transporte externo a las islas, como el aéreo y el marítimo.

El principal problema que se pretende atacar con la creación del sistema fotovoltaico y más aun con el sistema de monitoreo para el mismo es evitar los gases de efecto invernadero que se emiten como resultado de procesos naturales y de actividades humanas. El gas de efecto invernadero de origen natural más abundante en la atmósfera es el vapor de agua. Sin embargo, las actividades humanas liberan grandes cantidades de otros gases de efecto invernadero, lo que supone un incremento de las concentraciones atmosféricas de esos gases, que a su vez amplifican el efecto invernadero y el calentamiento global. Las fuentes principales de gases de efecto invernadero antropogénicos son las siguientes:

- la combustión de carburantes fósiles (carbón, petróleo y gas) para la generación de electricidad, el transporte, la industria y los hogares (CO₂);
- la agricultura (CH₄) y cambios de los usos del suelo como la deforestación (CO₂);
- los vertidos de residuos (CH₄);
- la utilización de gases fluorados industriales.

“Solución cercana para el uso de la energía solar” (“*Use of solar energy is near a solution*”), rezaba un titular del prestigioso diario estadounidense New York Times el 4 de abril de 1931. Como una premonición, más de 80 años después, millones de seres humanos en todo el mundo se abastecen de electricidad por medio de energías renovables como la solar y la Humanidad se dispone a acelerar la transición hacia una economía baja en carbono, consciente de la finitud de los combustibles fósiles y de sus efectos perjudiciales para el medio ambiente, como causa principal del calentamiento global. Además, las condiciones para su desarrollo son óptimas: cada hora, el sol arroja sobre la Tierra más energía –en forma de luz y calor- de la suficiente para colmar las necesidades globales de un año completo. Necesidades energéticas que la radiación solar podría satisfacer 4.000 veces cada año. De hecho, según *Energías Renovables Info*, la superficie terrestre recibe 120.000 terawatios de irradiación solar, “lo que supone 20.000 veces más potencia de la que necesita el planeta al completo”. Para defender el optimismo depositado en este tipo de energía, la Union of Concerned Scientists sostiene que sólo 18 días de irradiación solar sobre la Tierra contienen la misma cantidad de energía que la acumulada por todas las reservas mundiales de carbón, petróleo y gas natural.

A largo plazo, la electricidad solar es más barata que comprarla de la compañía eléctrica. Hay un costo de arranque, pero luego empieza a pagarse por sí misma. Una vez que se llega al punto de equilibrio, después todo es ganancia. (Sustentabilidad, s.f.).

La cantidad de energía captada, por un panel de células fotovoltaicas, dependerá, por lo tanto, de las condiciones meteorológicas, y sobre todo de su orientación respecto de los rayos solares: perpendicular en todo momento, para conseguir el máximo aprovechamiento. La transformación de energía solar, en energía eléctrica, se debe al efecto fotovoltaico. Este efecto convierte la luz en electricidad, a través de un medio. El medio empleado consiste en un material que absorbe los fotones de la luz -energía-, y posteriormente emite electrones.

Estos electrones se desplazan intercambiando posiciones, y produciendo una corriente eléctrica. Todos sabemos que la materia está compuesta por átomos, que, en su última capa, contienen electrones. Dichos electrones permiten la formación de enlaces entre átomos formando estructuras, y la conductividad eléctrica del material, dependerá de su movilidad. (Yuste, s.f.).

Por lo tanto, la creación de un sistema que permita el monitoreo de las distintas variables que interfieren para conocer con claridad y en tiempo real las mediciones de los sensores ayudan a conseguir el mejor rendimiento de la placa solar ya que está se deberá orientar siempre en buscar su máximo rendimiento, teniendo

en cuenta que un servicio de calidad necesita de un software que sea capaz de mantener un control exacto del sistema fotovoltaico que dependerá del uso, funcionamiento, y mantenimiento del mismo, permitiendo así el desarrollo e implementación de un sistema de calidad de control y monitoreo para mejorar desempeño en labores que involucren el uso adecuado del sistema fotovoltaico, además es útil para caracterizar sensores que sirven para mediciones entregando información relevante y confiable. En este artículo se utilizó un sistema de metodología SCRUM para el desarrollo del sistema, además se muestra la plataforma fabricada y la metodología de monitoreo y control utilizada. Y al final, se presentan los resultados obtenidos y las conclusiones del trabajo realizado.

2. Desarrollo

El sistema será capaz de medir las distintas variables con las que cuenta el sistema fotovoltaico, para la elaboración de dicho proyecto fue necesario el siguiente material:

- Panel Solar
- Inversor
- Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22
- Sensor de voltaje FZ0430
- Sensor de corriente ACS712
- Estructura de sujeción
- Conexión a internet
- Servicios IoT

“Panel solar”

Está compuesto por un conjunto de celdas interconectadas, encapsuladas bajo un vidrio para su protección y durabilidad. Existen diferentes tecnologías y tipos de arquitectura de paneles solares. Su objetivo es hacer más eficiente el sistema, generando más energía en el menor espacio posible y por un tiempo más largo.

“Inversor”

Prácticamente es el núcleo del sistema. Aquí es donde se convierte la Corriente Directa en Alterna, para después sincronizarse a la red. Estos equipos tienden a ofrecer 5 a 10 años de garantía y en algunos pueden extenderse a 25 años.

“Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22”

El sensor DHT22 te permite monitorear temperatura y humedad relativa de forma precisa y sencilla a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital, no requiriéndose utilizar entradas analógicas.

“Sensor de voltaje FZ0430”

El medidor de voltaje FZ0430 es un simple divisor de tensión con resistencias de 30K y 7K5, lo que supone que la tensión percibida por el módulo sea dividida por un factor de 5 ($7.5/(30+7.5)$).

“Sensor de corriente ACS712”

El dispositivo consta de un circuito preciso, bajo offset, sensor Hall lineal con una pista de cobre conductor ubicado cerca de la superficie de la matriz. La corriente aplicada que fluye a través de esta pista de conducción de cobre genera un campo magnético que es detectado por el IC integrado Hall y convertida en una tensión proporcional. La exactitud de los dispositivos se optimiza a través de la proximidad de la señal magnética al transductor Hall.

“Estructura de sujeción”

Cada celda necesita un método de sujeción y para ello cuenta con dispositivos de montaje para sistemas fotovoltaicos. Las estructuras normalmente son fabricadas en aluminio anodizado para evitar la corrosión y alargar el tiempo de vida útil; además de que cuentan con una variedad de anclajes, los cuales avalan la resistencia estructural del sistema y la impermeabilización en los puntos de sujeción.

“Servicios IoT”

Se define como la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (bien sea privada o Internet, la red de redes), donde todos ellos podrían ser visibles e interactuar.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto, se siguen dos metodologías: SCRUM para el seguimiento de proyectos y Desarrollo en Capas y Buenas prácticas para la construcción del software. Las metodologías ágiles están basadas en cuatro valores y permiten desarrollar proyectos de forma más acertada con las necesidades del cliente y responder mejor a los cambios que pudieran surgir al largo del proyecto. Pretenden ofrecer una alternativa más efectiva que los procesos tradicionales caracterizados por la rigidez y dominados por la documentación.

Los valores que rigen esta metodología son:

1. Valorar a las personas y las interacciones entre ellas por sobre los procesos y las herramientas
2. Valorar el software (producto) funcionando sobre la documentación detallada
3. Valorar la colaboración con el cliente por sobre la negociación de contratos
4. Valorar la respuesta a los cambios por sobre el seguimiento estricto de los planes

En Scrum un proyecto se ejecuta en ciclos temporales cortos y de duración fija (iteraciones que normalmente son de 2 semanas, aunque en algunos equipos son de 3 y hasta 4 semanas, límite máximo de feedback y reflexión). Cada iteración tiene que proporcionar un resultado completo, un incremento de producto final que sea susceptible de ser entregado con el mínimo esfuerzo al cliente cuando lo solicite.

El último día de la iteración se realiza la reunión de revisión de la iteración ya que tiene dos partes: Revisión (demostración) (1,5 horas). El equipo presenta al cliente los requisitos completados en la iteración, en forma de incremento de producto preparado para ser entregado con el mínimo esfuerzo. En función de los resultados mostrados y de los cambios que haya habido en el contexto del proyecto, el cliente realiza las adaptaciones necesarias de manera objetiva, ya desde la primera iteración, replanificando el proyecto. Retrospectiva (1,5 horas). El equipo analiza cómo ha sido su manera de trabajar y cuáles son los problemas que podrían impedirle progresar adecuadamente, mejorando de manera continua su productividad. El Facilitador se encargará de eliminar o escalar los obstáculos identificados que estén más allá del ámbito de acción del equipo. (¿Qué es SCRUM?, s.f.)

Un ejemplo de esto se encuentra en la figura 1 donde se explica brevemente el proceso a seguir.

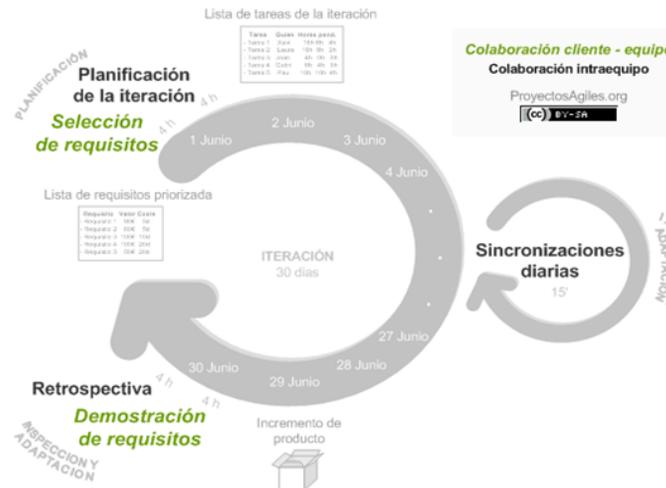


Figura 1: Metodología de seguimiento de proyectos SCRUM (Proyectos Agiles.com, 2016)

Una vez teniendo el sistema fotovoltaico para abastecimiento eléctrico funcionando figura 2 se partirá a la creación del sistema de monitoreo.



Figura 2: Imagen del sistema fotovoltaico para abastecimiento eléctrico creado con sketchup (Construcción Propia)

Para el sistema de monitoreo se utilizará un sistema embebido con la ayuda de una tarjeta de adquisición de datos que contiene un microcontrolador programable mediante software libre (Arduino) que permitirá interpretar, procesar y registrar las señales de los sensores de las variables climáticas medidas, dichas señales

se procesarán para su medición y registro. Se realizará la programación en el lenguaje del microcontrolador y se adaptarán cada uno de los sensores para la medición de las variables meteorológicas. Este sistema mantendrá también el monitoreo de la energía generada en el sistema fotovoltaico figura 3.

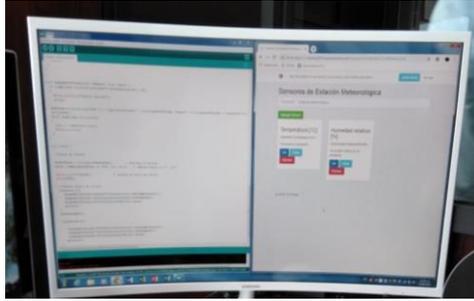


Figura 3: Foto de la medición de las variables (Construcción Propia)

Se instalará un sistema de reloj en tiempo real y tarjetas para almacenamiento de información para el monitoreo y la descarga de los datos generados. Se realizará una interfaz para visualizar los datos registrados desde una computadora personal o desde cualquier dispositivo móvil conectado a internet figura 4.

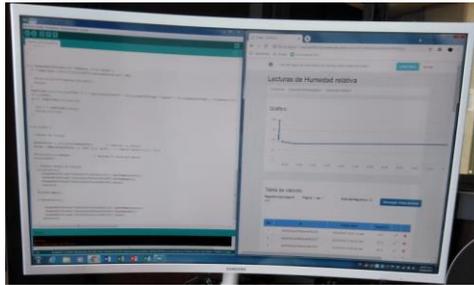


Figura 4: Foto de la consulta de los datos de las variables (Construcción Propia)

Por la parte del Hardware, ya se cuenta con el diseño de este, en la figura 5 se muestra el diagrama de conexión, en la figura 6 la primera versión del prototipo.

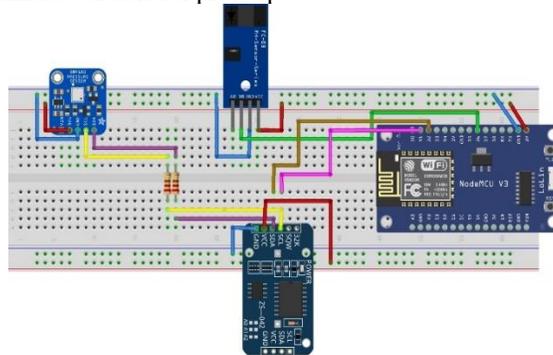


Figura 5: Diagrama de conexión del Hardware (Construcción Propia)

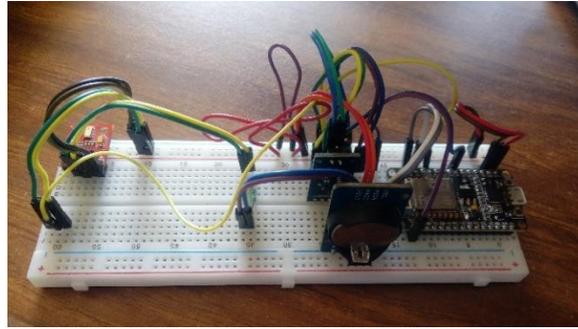


Figura 6: Fotografía del primer prototipo en un protoboard (Construcción Propia)

3. Resultados

Este proyecto presenta un reporte en tiempo real sobre el monitoreo de los sensores como lo muestra la figura 7, ayudando de esta manera a la toma de decisiones en relación al sistema fotovoltaico observando que con el monitoreo de la cantidad de voltaje y la tensión que se tiene como muestra la figura 8, así como la durabilidad de la batería, entre otros, se pudieron reducir las fallas y problemas técnicos en el sistema fotovoltaico en un 65%, esto de acuerdo a las bitácoras de fallas y errores que muestran una reducción altamente favorable, de esta forma podemos tener un mejor aprovechamiento de la energía que ahí se produce y reducimos las fallas y brindamos seguridad a los usuarios. Actualmente se cuenta con la aplicación multiplataforma para la visualización de los datos y el hardware funcionando.

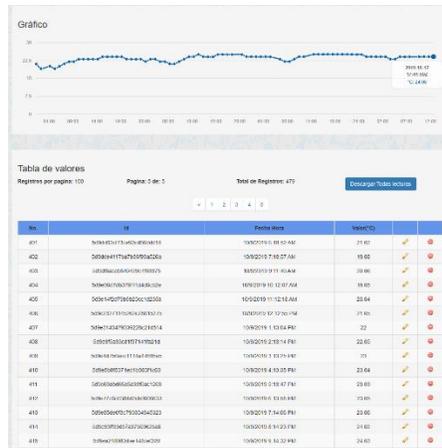


Figura 7: Captura de pantalla del reporte de lecturas de temperatura (Construcción Propia)

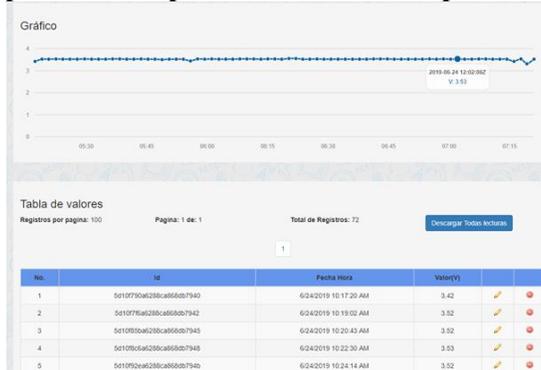


Figura 8: Captura de pantalla del reporte de lecturas de Tensión (Construcción Propia)

4. Conclusiones

Con la puesta en marcha de este proyecto podemos monitorear la cantidad de voltaje producida por el sistema, la cantidad de voltaje utilizada y la cantidad de s que hacen uso de dicho sistema fotovoltaico. Apoyando a la comunidad estudiantil teniendo acceso a una energía limpia, ayudando al cuidado del medio ambiente, de esta manera podemos utilizar dicho sistema fotovoltaico para que en unos años no solo sea para

abastecimiento de algunos cuantos, sino podamos brindarle energía solar limpia y sin contaminar a todos los estudiantes, ayudando a la contribución de la erradicación de contaminantes dentro de la Universidad.

Se pretende ampliar el proyecto, para poder darle abastecimiento eléctrico a un laboratorio, mismo que funcionaria con energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico, buscando contribuir en los aspectos que nos ayuden apoyando la utilización de energías limpias.

Se pudo demostrar en las pruebas que se realizaron para validar la funcionalidad del sistema que al implementarlo se obtuvo una reducción considerable de fallas en el sistema fotovoltaico.

Se plantea como trabajo a futuro la implementación del sistema de monitoreo sobre la misma infraestructura, pero ahora alimentando a un laboratorio para el uso exclusivo de energía solar.

5. Referencias

¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cómo funciona? (s.f.). Obtenido de <https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/>

¿Qué es SCRUM? (s.f.). Obtenido de Inspección y adaptación de la metodología scrum: <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>

Carlos, J. C. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Canarias: ISBN.

Energía Solar Fotovoltaica. (s.f.). Obtenido de <http://www.cener.com/areas-de-investigacion/departamento-solar-fotovoltaica/>

Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. (2016). Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf

Sustentabilidad. (s.f.). Obtenido de <https://stbdeacero.com/2013/02/04/beneficios-de-la-energia-solar/>

Yuste, P. S. (s.f.). [certificadosenergeticos.com](http://www.certificadosenergeticos.com). Obtenido de <https://www.certificadosenergeticos.com/energia-solar-beneficios-que-efecto-fotovoltaico>

6. Notas Biográficas

El **TSyMEC. Daniel Ramírez Gutiérrez**, Este autor es de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, en Huichapan, Hidalgo, México.

El **MIDS. Adrián Chávez Cruz**, es Maestro en Ingeniería y Desarrollo de Software por CPDS, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

El **MER. Jorge Alberto Azuara Jiménez**, es Maestro en Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables por ITESM, Pachuca, Hidalgo, México, actualmente es profesor en la división de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. México.

El **MC. Jairo García Domínguez**, es Maestro en Ciencias en Energía Eólica por UNISTMO Tehuantepec, Oax., México, actualmente es profesor de la división de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. México.

Estudio de localización y distribución de planta para una maquiladora de productos textiles de la región de Misantla, Ver.

Edwin Daniel Méndez Cruz, LA. César Argüelles López, MII.². Miguel Ángel López Ramírez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental³. Ligia Herrera Franco, MII.⁴.

¹Edwin Daniel Méndez Cruz, Licenciado en Arquitectura, es Profesor de Ingeniería Ambiental en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. edwin.dmc@outlook.com.

²César Argüelles López, MII., es Profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. arguelles88@hotmail.com.

³Miguel Ángel López Ramírez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental, es Profesor de Ingeniería Ambiental en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. miguel_angellr1993@outlook.com.

⁴Ligia Herrera Franco, MII., Orizaba, Veracruz. lenaherrera@hotmail.com.

Resumen— Esta investigación muestra un caso de estudio de localización y distribución de planta para una empresa de confeccionistas y maquiladores, la cual fue generada a través de dos fases: en la primera, se realizó un diagnóstico de las necesidades de la empresa y se determinó la localización del nuevo taller mediante la aplicación del método de Brown and Gibson; en la segunda fase, se obtuvo la distribución de las áreas de trabajo de acuerdo con la aplicación de la metodología *Systematic Layout Planning* (SLP). Además de la determinación de la localización y distribución del nuevo taller, se usó *software* de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para la creación del *Layout*. El objetivo de la investigación fue determinar la localización y generar la distribución óptima para el mejoramiento de las operaciones de la empresa “Confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, obteniendo mejoras como reducción de recorridos, mejora del flujo de materiales y áreas mejor distribuidas. La metodología empleada demuestra que se pueden reducir problemas por la mala localización y distribución de planta, los cuales afectan a la mayoría de las empresas a largo plazo, generando costos elevados por transporte y entorpecimiento del flujo de materiales en el proceso productivo.

Palabra(s) clave— Diseño, Distribución, Localización, Mejora, Planta.

Abstract— This research shows a case study of plant location and distribution for a garment and maquiladora company, which was generated through two phases: in the first, a diagnosis of the company's needs was made and the location was determined of the new workshop by applying the Brown and Gibson method; In the second phase, the distribution of the work areas was obtained according to the application of the Systematic Layout Planning (SLP) methodology. In addition to determining the location and distribution of the new workshop, Computer Aided Design (CAD) software was used to create the Layout. The objective of the investigation was to determine the location and generate the optimal distribution for the improvement of the operations of the company “Confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, obtaining improvements such as reduction of routes, improvement of the flow of materials and better distributed areas. The methodology used shows that problems can be reduced due to the poor location and distribution of the plant, which affect most of the companies in the long term, generating high costs for transport and impeding the flow of materials in the production process.

Key words – Design, Distribution, Location, Improvement, Plant.

1. Introducción

En este artículo se presenta un estudio de localización y distribución de planta para la PyME denominada “Empresa de confeccionistas y maquiladores del ejido La isla”, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Nautla, Ver. Actualmente, la empresa mantiene una distribución inadecuada donde las áreas han ido agregándose de acuerdo con las necesidades que van surgiendo a través del tiempo. Esto ha ocasionado el interés del propietario por crear un nuevo taller en una mejor ubicación que le permita estar más cerca de sus proveedores y con mayor posibilidad de crecimiento. Para ello, se aplicó el método de Brown y Gibson y la metodología SLP para posicionar a la empresa en un área geográfica dentro de la región, donde exista un equilibrio entre los costos generados por suministros, el transporte y las relaciones con los clientes, disminuyendo distancias y mejorando a su vez el flujo de las operaciones productivas de la empresa.

2. Fundamentos teóricos

La localización y distribución de instalaciones es una de las decisiones clave que determinan la eficiencia de las operaciones a largo plazo. La distribución de instalaciones tiene numerosas implicaciones

estratégicas porque establece las prioridades competitivas de la organización en relación con la capacidad, los procesos, la flexibilidad y el costo (Heizer & Render, 2009).

De acuerdo con Meyers y Matthew (2006), el diseño de las instalaciones de manufactura y manejo de materiales afecta casi siempre a la productividad y a la rentabilidad de una compañía, más que cualquiera otra decisión corporativa importante. Las actividades industriales desarrolladas en entornos competitivos se rigen cada vez más por las condicionantes de un mercado exigente y selectivo, en el que la eficiencia en el desempeño de todas las facetas del proceso productivo se hace condición necesaria para la subsistencia de la empresa. El éxito vendrá condicionado, entre otros factores, por la optimización de los costes de producción y una flexibilización de los procesos que permita hacer frente a un entorno cambiante [10].

Moore (1962) establece siete objetivos básicos a cumplir por la distribución en planta: simplificar al máximo el proceso productivo, minimizar los costes de manejo de materiales, tratar de disminuir la cantidad de trabajo en curso, aprovechar el espacio de la manera más efectiva posible, aumentar la satisfacción del operario y procurar la seguridad en el trabajo, evitar inversiones de capital innecesarias, y aumentar el rendimiento de los operarios estimulándolos convenientemente.

A través del tiempo, el problema de distribución en planta ha sido entendido de distintos puntos de vista; Caputo, et al. (2015) afirman que este problema consiste en encontrar la disposición espacial óptima de un conjunto de instalaciones teniendo en cuenta las conexiones que debe existir entre ellas para organizar de manera más eficiente la producción y aumentar la seguridad de la planta. Existen diferentes métodos para generar propuestas de localización de planta, tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Los métodos cualitativos, del tipo de matrices de selección por puntos, consisten en calificar a las localizaciones propuestas, a partir de una valoración de los factores ponderados, que son objeto del análisis (Tavella & Giordano, 2006), de esta forma, las puntuaciones obtenidas en la calificación corresponden a un porcentaje de la localización ideal (100 %) (Tavella, Miropolsky, & Roxana, 2007). En cuanto a las escalas de valoración, se utiliza una técnica denominada "Escala de Orden" (Gómez, 2007) en la cual se establece una jerarquía entre los distintos elementos objeto de valoración. Estas son escalas cualitativas, la unidad que ocupa el primer puesto vale más que la segunda y ésta que la tercera, pero no puede inferirse cuanto más. Una variación del método anterior fue propuesta por Brown y Gibson, donde se combinan factores posibles de cuantificar con factores subjetivos, asignándoles una ponderación relativa, para obtener una medida de preferencia de localización (Sapag & Sapag, 2000).

En la actualidad, las empresas se enfrentan a un ambiente cambiante e incierto, por lo que cada vez los proyectos de localización y redistribución de planta son más comunes; es necesario aclarar que los proyectos de redistribución de planta consisten en la reorganización de los equipos, departamentos y recursos existentes en la planta, con el fin de mejorar su desempeño (Rivera, Cardona, & Vásquez, 2012), mientras que la localización sirve para determinar la ubicación ideal para que la planta se instale, considerando diversos factores que detonaran el crecimiento de esta a futuro. De acuerdo con la investigación realizada por Valencis (2013) se obtuvo una reducción de costos del 46% aplicando metodología SLP en una planta procesadora de alimentos, de igual manera Martínez, et al. [19] en su aplicación de la misma metodología obtuvo una tasa de retorno superior al 600% debido a una mejor distribución.

3. Desarrollo

Método.

El proyecto fue desarrollado para un taller de confeccionistas y maquiladores ubicado en la comunidad de la Isla de Chapa Chapa, perteneciente al municipio de Nautla, Veracruz, el cual presenta áreas de oportunidad para su desarrollo y posicionamiento en el mercado, a pesar de la notoria demanda de sus productos.

De acuerdo con un diagnóstico realizado y las necesidades de la empresa, se propuso realizar un estudio de localización y distribución de un nuevo taller para mejorar sus operaciones desde un punto estratégico. La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto se presenta en la figura 1.

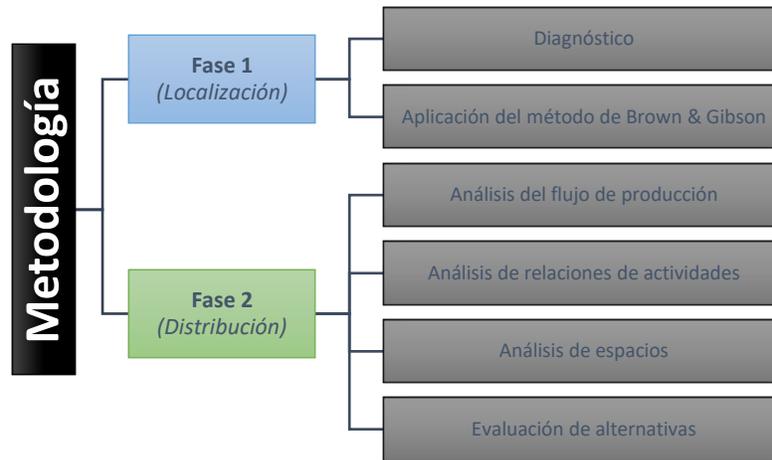


Figura 1. Metodología de localización y distribución. Elaboración propia.

Fase 1.- Localización

La determinación de la mejor alternativa para la localización del nuevo taller se llevó a cabo considerando un diagnóstico preliminar de la empresa y a través del método de Brown y Gibson, por el cual, mediante la definición de los factores de interés y su evaluación, se pudo obtener la mejor alternativa. Para ello, se definieron los factores de impacto, se hizo el cálculo del factor objetivo por cada locación (FO_i), la estimación de los factores subjetivos (FS_i) y el cálculo de la medida de preferencia (MPL_i) para obtener la mejor alternativa de localización.

Definición de factores

El primer paso para la aplicación del método de Brown y Gibson es identificar los factores de mayor impacto de acuerdo con las necesidades de la empresa como el suministro de servicios, cercanía con los proveedores que suministran la materia prima, los costos por transporte y arrendamiento principalmente (Tabla 1).

Obtención del factor objetivo (FO_i)

Después de identificar los factores de mayor impacto se procedió a calcular el factor objetivo (FO_i) aplicando la ecuación 1. La tabla 1 muestra los costos por cada factor de acuerdo con las tres alternativas para la localización de la nueva planta.

$$FO_i = \left[COF_i \sum \left(\frac{1}{COF_{in}} \right) \right]^{-1} \quad \text{Ecuación (1)}$$

	MARTÍNEZ DE LA TORRE (a)	MISANTLA (b)	LA ISLA DE CHAPA CHAPA (c)
Gastos de arrendamiento	\$81,600.00	\$64,800.00	\$10,800.00
Contratación de luz y agua	\$86,400.00	\$85,300.00	\$91,700.00
Gasolina	\$38,400.00	\$41,200.00	\$45,400.00
Contratación de MO calificada	\$1,041,566.40	\$1,035,014.40	\$1,674,188.00
Gastos de materia prima	\$112,600.50	\$110,015.00	\$114,000.38
Teléfono	\$6,580.00	\$6,216.00	\$5,800.00
TOTALES	\$1,367,154.90	1,342,545	\$1,941,888.33

Tabla 1. Costos de los factores por cada locación propuesta.

De acuerdo con la sustitución de los datos de la tabla 1 en la ecuación 1, se obtuvo el factor objetivo de cada locación i .

$$FO_a = \left[1367154.90 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = \mathbf{0.853}$$

$$FO_b = \left[1342545.40 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = \mathbf{0.087}$$

$$FO_c = \left[1941888.38 \left(\frac{1}{1367154.90} + \frac{1}{1342545.40} + \frac{1}{1941888.38} \right) \right]^{-1} = \mathbf{0.06}$$

Estimación de factores subjetivos (FSi)

Después de realizar el cálculo de los FO_i, se procedió a estimar cada factor subjetivo por locación (FS_i) aplicando la ecuación 2.

$$FS_i = \sum(R_{ij} * W_j) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para aplicar la formula, se procedió a definir los factores identificados en la tabla 2 (K_j).

	MARTÍNEZ DE LA TORRE (A)	MISANTLA (B)	CHAPA CHAPA (C)	SUMA
(K1) Efecto sobre las inversiones en altura sobre el nivel del mar	0.60	0.60	0.60	1.80
(K2) Temperatura/Humedad	0.70	0.70	0.70	2.10
(K3) Disponibilidad	0.90	0.90	0.30	2.10
(K4) Proveedores	0.90	0.70	0.60	2.20
(K5) Los suministros y servicios existentes en la zona	0.90	0.60	0.60	2.10
(K6) La posibilidad de abastecerse en la zona	0.90	0.80	0.10	1.80
SUMA	4.90	4.30	2.90	

Tabla 2. Ponderación de cada factor subjetivo.

El cálculo del índice de importancia relativa (W_j) para cada factor K_i, se obtuvo al dividir la suma de las ponderaciones por factor entre cada ponderación aplicada a cada locación i. Como resultado se obtuvo la tabla 3.

SUMA	Wa	Wb	Wc
1.80	0.333	0.333	0.333
2.10	0.333	0.333	0.333
2.10	0.429	0.429	0.143
2.20	0.409	0.318	0.273
2.10	0.429	0.286	0.286
1.80	0.500	0.444	0.056

Tabla 3. Índices de importancia relativa Wj

El cálculo del ordenamiento jerárquico (R_{ij}) se obtuvo al dividir cada ponderación entre la suma de ponderaciones de cada locación i. Como resultado se obtuvo la tabla 4.

SUMA	4.90	4.30	2.90
RK1	0.122	0.110	0.207
RK2	0.143	0.163	0.241
RK3	0.184	0.209	0.103
RK4	0.184	0.163	0.207
RK5	0.184	0.140	0.207
RK6	0.184	0.186	0.034

Tabla 4. Ordenamiento Jerárquico Rij.

Al sustituir los W_j y los R_{ij} en la ecuación 2, se obtuvo el factor subjetivo por cada alternativa:

$$FS_A = 0.333 * 0.122 + 0.333 * 0.143 + 0.429 * 0.184 + 0.409 * 0.184 + 0.429 * 0.184 + 0.500 * 0.184 \\ = \mathbf{0.413}$$

$$FS_B = 0.333 * 0.140 + 0.333 * 0.163 + 0.429 * 0.209 + 0.318 * 0.163 + 0.286 * 0.140 + 0.444 * 0.186 \\ = \mathbf{0.365}$$

$$FS_C = 0.333 * 0.207 + 0.333 * 0.241 + 0.143 * 0.103 + 0.273 * 0.207 + 0.286 * 0.207 + 0.056 * 0.034 \\ = \mathbf{0.281}$$

Obtención de la medida de preferencia de localización (MPL)

Finalmente, con los FO_i y los FS_i calculados, se obtuvieron las medidas de preferencia de localización para evaluar cada alternativa. Para realizar el cálculo se aplicó la ecuación 3.

$$MPL_i = k(FO_i) + (1 - k)(FS_i) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Al sustituir los valores, se obtuvo:

$$MPL_A = (0.7 * 0.853) + (0.3 * 0.413) = \mathbf{0.721}$$

$$MPL_B = (0.7 * 0.087) + (0.3 * 0.365) = \mathbf{0.170}$$

$$MPL_C = (0.7 * 0.060) + (0.3 * 0.281) = \mathbf{0.126}$$

Determinación de la mejor localización

De acuerdo con la aplicación del método de Brown y Gibson y la medida de preferencia de localización calculada, se determinó que la mejor alternativa para la localización del nuevo taller de la empresa es en Martínez de la Torre, Veracruz.

Fase 2.- Distribución

La segunda fase del proyecto fue determinar la distribución del nuevo taller, ya que diversos autores coinciden que una buena distribución de las áreas ayuda a mejorar significativamente las operaciones productivas. Para ello, fue necesario realizar un análisis del flujo de la producción, determinar las relaciones entre las actividades del taller, analizar las necesidades del sistema productivo y la disponibilidad de espacios.

Análisis del flujo de producción.

Este análisis se llevó a cabo utilizando diagramas de proceso y recorrido, determinando las características de cada subproceso para la fabricación de cada producto. Como resultado de este análisis se obtuvieron las etapas necesarias para la fabricación y las áreas requeridas, así como los espacios necesarios para las operaciones productivas.

Análisis de relaciones entre actividades.

Después de realizar el análisis del proceso, se procedió a generar un estudio para identificar las relaciones entre las actividades productivas con el propósito de determinar las áreas que mantienen mayor comunicación y requieren mantener relación cercana (Figura 2).

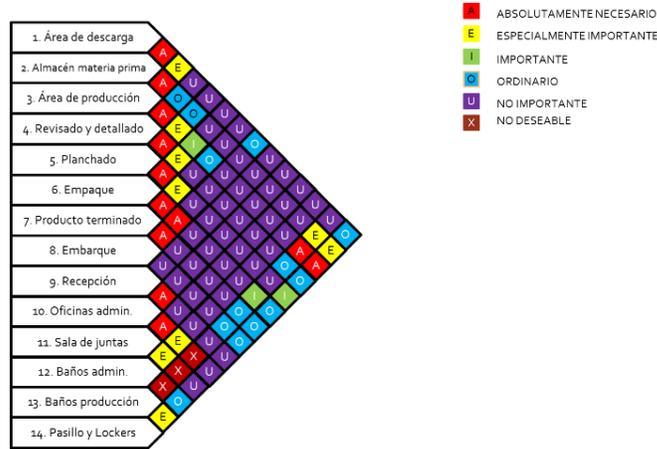


Figura 2. Diagrama de relaciones de actividades. Elaboración propia.

Análisis de necesidades y disponibilidad de espacios.

El análisis de las necesidades y la disponibilidad de espacio se llevó a cabo mediante la generación de diagramas de relación de espacios, siendo similar al diagrama relacional de actividades (Figura 3). También se realizó el cálculo para determinar las dimensiones de las áreas necesarias (Figura 4). De acuerdo con los cálculos realizados, se obtuvo que para el espacio estático se requieren 28.88 m^2 , para el espacio gravitacional 31.65 m^2 y finalmente para el espacio evolutivo 50.95 m^2 .

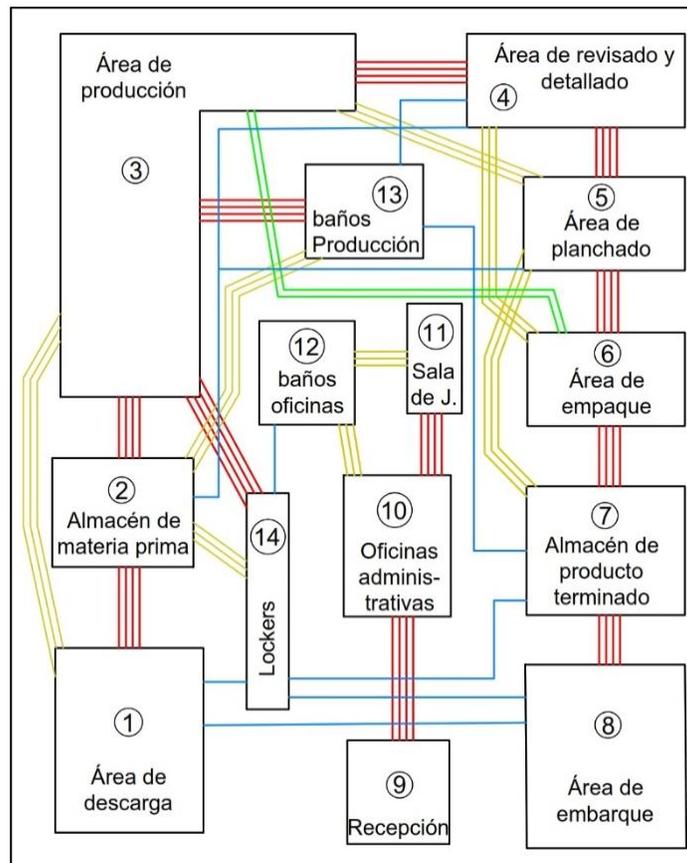


Figura 3. Diagrama relacional de espacios. Elaboración propia.

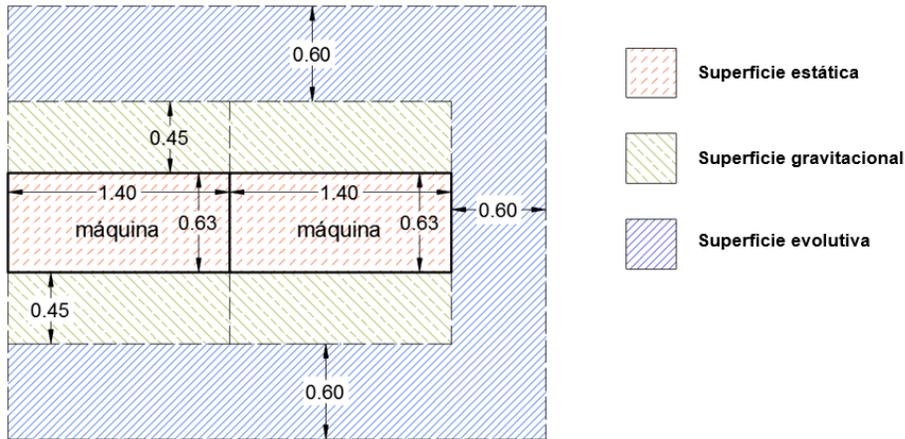


Figura 4. Requerimientos de espacios. Elaboración propia.

Evaluación de alternativas

Las alternativas fueron propuestas de acuerdo con el análisis relacional de áreas de trabajo con el fin de disminuir los recorridos y mejorar el flujo de proceso productivo. De acuerdo con las alternativas generadas, la mejor de ellas se muestra en la figura 5.

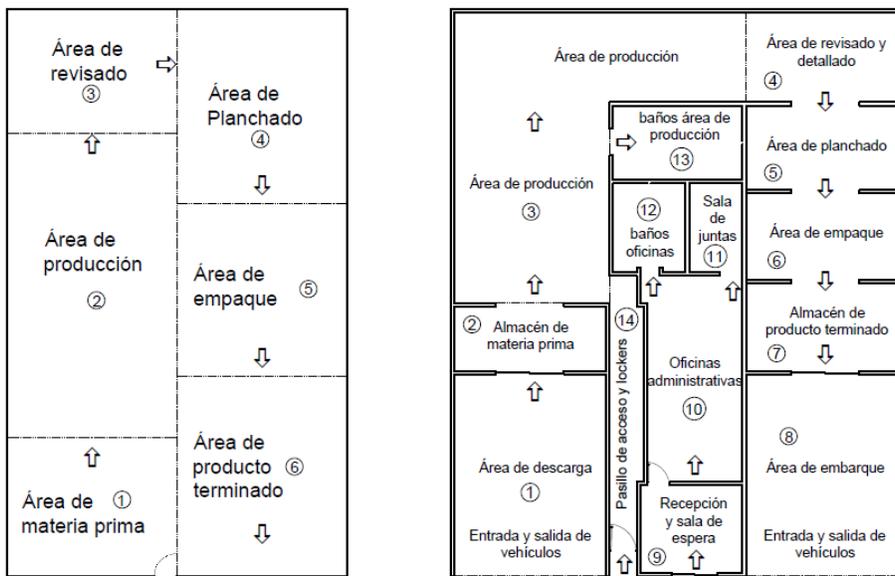


Figura 5. Distribución actual vs. distribución propuesta. Elaboración propia.

4. Resultados

De acuerdo con el desarrollo de la metodología planteada para la localización y distribución de las áreas de trabajo para la empresa de maquiladores y confeccionistas. Se obtuvo que la localización para el nuevo taller es en la ciudad de Martínez de la Torre, Veracruz. La distribución resultante para el taller se muestra en la figura 6. La figura 7 muestra el *layout* del taller realizado en *software* CAD

Teniendo en cuenta la poca organización del sistema productivo de la planta actual, se detectaron problemas de pérdida de tiempo y merma de materia prima hasta de un 20% aproximadamente. Además, al no contar con un área de carga y descarga apropiada, los empleados realizaban recorridos excedentes interrumpiendo otras tareas de manera frecuente, esto implicaba que el sistema productivo se viera retrasado hasta en un 30%. Con la nueva ubicación de la planta y la distribución propuesta, los recorridos serán más cortos debido al ordenamiento de las áreas y se espera que las cargas y descargas de los vehículos sean 50% más rápidas en comparación con la distribución anterior.

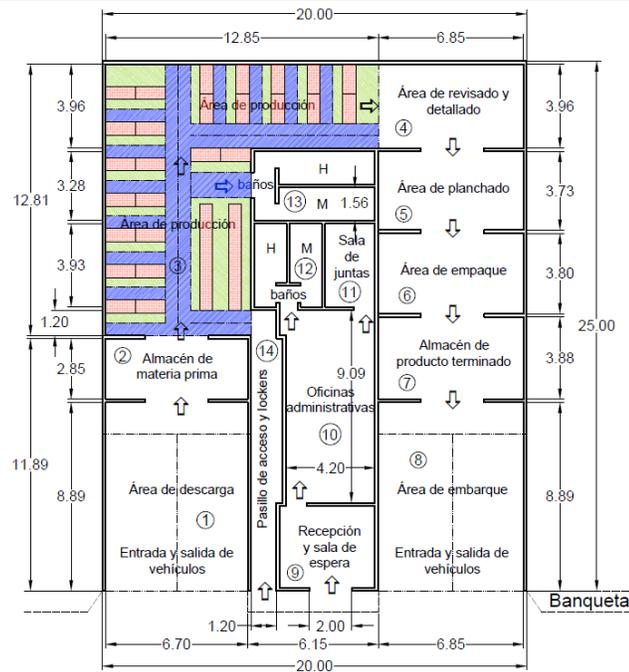


Figura 6. Propuesta de distribución del taller. Elaboración propia.

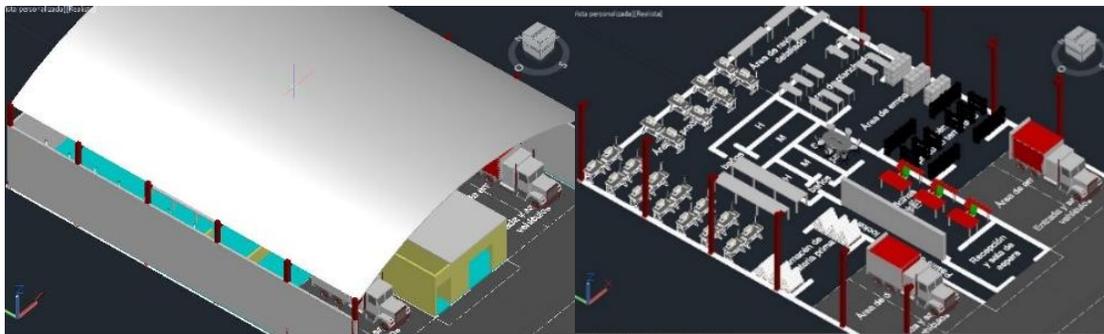


Figura 7. Layout de la distribución resultante de la planta. Elaboración propia.

Discusión.

De acuerdo con Orozco y Cervera (2013), la simulación permite tomar mejores decisiones, es por esto que la simulación de las diversas alternativas generadas por la metodología SLP tienen como propósito el “organizar algunos elementos (departamentos, grupos de trabajo, puestos de trabajo, maquinarias y equipos, entre otros), de manera tal que garantice un flujo de trabajo uniforme (en una fábrica) o un patrón de tráfico determinado. Además, el uso de la metodología SLP permite afrontar el problema de distribución de planta de manera ordenada debido a la necesidad de desarrollar un procedimiento verdaderamente sistemático. La aplicación de esta metodología en el caso de estudio presentado en este artículo confirma que es necesario, para cualquier empresa, planear y organizar el diseño de sus instalaciones, ya que a largo plazo se generaran mejores beneficios.

5. Conclusiones

La correcta localización y distribución de planta ha sido y seguirá siendo clave para el crecimiento de las empresas, ya que se minimizan algunos problemas de suministro y se mejora el flujo del proceso productivo al mantener cercanas aquellas áreas que mantienen una estrecha relación en sus operaciones.

Actualmente existen diversas metodologías para la distribución de planta, sin embargo, la metodología *Systematic Layout Planning* (SLP) ha sido de las más aceptadas por diversos autores para la solución de problemas de distribución de planta.

El estudio de localización y distribución del nuevo taller para “La empresa de confeccionistas y maquiladores del ejido La isla” representa una alternativa para el crecimiento y posicionamiento de la empresa. Sin embargo, es necesario mencionar que la empresa deberá emprender proyectos para mejorar su proceso

productivo desde diferentes aspectos, desde la organización laboral hasta la estandarización de sus procesos administrativos y productivos.

Como trabajo futuro, se espera que se estandaricen los procesos de la empresa y se genere un plan estratégico y operativo para mejorar su productividad.

6. Referencias

- Arroyave Loaiza, G., Isaza Nieto, P., & Jarrillo Soto, E. C. (1993). Análisis de Sensibilidad en los Proyectos de inversión en Salud. *Salud pública de México*, 318-327.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: Mc GrawHill.
- Calidad, C. &. (17 de Julio de 2013). *Consultoría en crecimiento de Pymes y Empresas Familiares*. Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de <http://www.clasec.net/como-hacer-presupuestos-parte-3-presupuesto-de-inversiones/>
- Caputo, A., Pelagagge, P., Palumbo, M., & Salini, P. (2015). Safety-based process plant layout using enetic algorithm. *Journal of Loss Prevention in the Process*, 139-150.
- Collazos Valencis, C. J. (2013). *Rediseño del sistema productivo utilizando técnicas de distribución de planta*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Diego, J. (2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos: aportación al control de la geometría de las actividades*. Valencia: Universidad de Valencia.
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Gómez, D. (2007). *Evaluación Ambiental Estratégica*. Madrid: Mundi Prensa Libros.
- Gonzales, H. M. (s.f.). *Proteccion reles*.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones* (Séptima ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Pricipios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Leyva, M., Mauricio, D., & Salas Bacalla, J. (2013). Una taxonomía del problema de distribución de planta por procesos y sus métodos de solución. *Industrial Data*, 132-143.
- Martínez Martínez, A., Lozada Trujillo, T., Carlos, F. A., & Moras Sanchez, C. g. (2012). Aplicación de la metodología SLP en la empresa "La vieja Molienda de Santa Maty" Para mejorar la distribución de sus componentes y uso de los espacios. *Revista de la Ingeniería Industrial*, 29-50.
- Meyers, F., & Matthew, S. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales* (Tercera ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Moore, J. (1962). *Plant layout and design*. New York: MacMillan Company.
- Orozco, E. E., & Cervera, J. E. (2013). Diseño y Distribución de Instalaciones Industriales apoyado en el uso de la Simulación de Procesos. *Investig.innov.ing.*, 6-12.
- Paredes Rodríguez, A. M., Peláez Mejía, K. A., Chud Pantoja, V. L., Payan Quevedo, J. L., & Alarcón Grisales, D. R. (2016). Rediseño de una planta productora de lácteos mediante la utilización de las metodologías SLP, CRAFT y QAP. *Scientia et Technica*, 318-327.
- Rivera, L., Cardona, L., & Vásquez, L. (2012). Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones. *Sistemas & Telemática*, 9-26.
- Sapag, N., & Sapag, R. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Santiago: McGraw-Hill Interamericana.
- Tavella, M., & Giordano, J. (2006). *Planificación Ambiental Estratégica y Desarrollo Sostenido. Asentamiento de Parques Industriales*. Buenos Aires: Actas del XXII Congreso Interamericano de Ingeniería Química.
- Tavella, M., Miropolsky, A., & Roxana, M. (2007). *Los Parques Industriales como Estrategia para el Desarrollo Sustentable en Ciudades de la Provincia de Córdoba*. Córdoba: Córdoba: Actas del IV Congreso Internacional de Municipios y Servicios Públicos.

7. Notas Biográficas

El **LA. Edwin Daniel Méndez Cruz** es Licenciado en Arquitectura, con una especialidad en Dirección Empresarial, egresado del Instituto Veracruzano de Educación Superior, Facultad de Arquitectura campus Xalapa, Veracruz, México; actualmente desempeñándose como Docente por asignatura tipo A, en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

El **MII. César Argüelles López** es MII. con especialidad en Logística y Optimización de Sistemas de Manufactura por el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México,

actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

El **M CIA. Miguel Ángel López Ramírez** es Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental con especialidad en Control de la Contaminación Costera por el Tecnológico Nacional de México/Instituto de Boca del Río, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre y como agente capacitador externo del Corporativo Mendoza ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

La **MII. Ligia Herrera Franco** es MII. con especialidad en Toma de Decisiones por el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Diseño de un sistema de seguridad ocupacional y protección al ambiente para la producción de Thermo Egg.

Cleotilde Anahí Álvarez Contreras,¹ MII. Ana Roselyn Pérez Méndez², Maestra en Ciencias Ambientales.
Elizabeth Salazar Hernández³, MC. Saúl Reyes Barajas⁴ MII. Mario Pérez Acosta⁵

¹Cleotilde Anahí Álvarez Contreras, de Ingeniería Ambiental del en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0437@itsm.edu.mx.

² La MII. Ana Roselyn Pérez, es profesora de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. arperezm@itsm.edu.mx.

³La Maestra en Ciencias Elizabeth Salazar Hernández, es Jefa de carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. esalazarh@itsm.edu.mx

⁴El Maestro en Ciencias Saúl Reyes Barajas, es Jefe de carrera de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. sreyesb@itsm.edu.mx.

⁵ La MII. Mario Pérez Acosta, es profesor de Ingeniería Electromecánica e Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. marioperez@itsm.edu.mx

Resumen— Dentro de la industria, los diferentes tipos de empresas ya sea de bienes o servicios, buscan cumplir con las condiciones adecuadas para su funcionamiento, dentro de todos los aspectos que consideran se encuentran la seguridad ocupacional y la protección al ambiente. En México, para hacer que las entidades de producción no dejen a un lado este aspecto de su funcionamiento, se cuenta con un sustento legal y normativo en materia de seguridad y salud ocupacional y en materia ambiental que garantiza por un lado el cuidado del trabajador dentro de la empresa en cada una de las actividades que realiza y por otro el cuidado del medio ambiente, considerando diferentes aspectos importantes para evitar se siga deteriorando (STPS, 1997). Este trabajo detalla las actividades realizadas para el diseño de un sistema de seguridad ocupacional y protección al ambiente para la producción de Thermo Egg, basado en la normativa mexicana para lograr el diseño de instalaciones con condiciones seguras para su producción, así como la elaboración de manuales para operar de manera segura en la empresa y para el manejo de materiales y residuos, además de lograr disminuir los riesgos inherentes del proceso para el momento en que la empresa comience a operar. La metodología utilizada para este caso de estudio consta de varias etapas, que conforman tres aspectos claves para lograr el diseño del sistema de seguridad ocupacional y protección al medio ambiente, los cuales son: la Prevención, cuya finalidad es prevenir la ocurrencia de hechos que atenten contra el patrimonio moral y material de la empresa y de sus trabajadores; la Protección que tiene como fin asegurar la protección de instalaciones, edificaciones, equipos, información y personal de la empresa; y la Corrección para este sistema de seguridad, estableciendo un área de análisis y diseño del sistema de seguridad. Resultado de este caso de estudio se cuenta ya con un bosquejo de las instalaciones necesarias para la producción de Thermo Egg y se ha realizado un Análisis de Modo de y Efecto de Fallas (AMEF) del cual se han obtenido los Números Prioritarios de Riesgos (NPR) para cada operación crítica del proceso, para los que se crearán planes de para reducir fallos en el proceso y así disminuir riesgos en el mismo.

Palabra(s) clave- Seguridad ocupacional, medioambiente, protección, identificación, diseño.

Abstract– Within today's industry, the different types of companies (whether of goods or services) seek to comply with appropriate operational conditions, within all aspects that they consider are occupationally safe and environmentally sound. In order to keep Mexican enterprises within these guidelines, there is legal and regulatory support for occupational health and safety, as well as for the environment. This guarantees the care of each company employee in his or her respective activities. It also fulfills a moral obligation to the environment, considering different important aspects to avoid further deterioration (STPS, 1997). This work details the process steps for the design of an occupationally safe and environmentally sound system for the production of Thermo Egg. It is based on Mexican regulations to achieve the design of facilities with safe conditions for its production, as well as the development of operational safety manuals. In addition, it considers the responsible management of materials and waste. All of this taken together should promote a healthier production atmosphere with lasting benefits. The methodology used for this case study consists of several stages, which make up three key aspects to achieve the design of the occupational safety and environmental protection system, which are: Prevention, whose purpose is to prevent the occurrence of events that attempt against the moral and material heritage of the company and its workers; Protection that aims to ensure the protection of facilities, buildings, equipment, information and company personnel; and Correction for this security system, establishing an area of analysis and design of the security system. As a result of this study case,

there is already an outline of the facilities necessary for the production of Thermo Egg and a Failure Mode and Effect Analysis (AMEF) has been carried out from which the Priority Risk Numbers (NPR) have been obtained) for each critical operation of the process, for which plans will be created to reduce process failures and thus reduce risks in the process.

Key words – Occupational security, environment, protection, identification, design.

1. Introducción

La Seguridad en el Trabajo es uno de los aspectos más importantes de la actividad laboral. El trabajo sin las medidas de seguridad apropiadas puede acarrear serios problemas para la salud. En este sentido, muchas veces la seguridad no se trata tan en serio como se debería lo que puede generar graves riesgos no sólo para los empleados sino también para los empresarios. Las empresas deben implementar programas de Prevención de Riesgos Laborales, que no son más que un conjunto de técnicas que permiten evitar los accidentes más comunes que se producen en el trabajo (Saldago, 2006).

La seguridad y salud en el trabajo se encuentra regulada por diversos preceptos contenidos en nuestra Constitución Política, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal del Trabajo, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo, así como por las normas oficiales mexicanas de la materia, entre otros ordenamientos. Actualmente, se encuentran vigentes 41 normas oficiales mexicanas en materia de seguridad y salud en el trabajo. Dichas normas se agrupan en cinco categorías: de seguridad, salud, organización, específicas y de producto y su aplicación es obligatoria en todo el territorio nacional (STPS, 2012).

Aunado a esto, en la actualidad la sociedad se preocupa cada vez más por la sostenibilidad y protección del medio ambiente y el número de empresas que velan por éste ha aumentado. Hoy en día son cada vez más las organizaciones que implementan un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) como una combinación de procesos que permiten que la empresa reduzca sus impactos ambientales y aumente su eficiencia para conseguir mejoras tanto económicas como ambientales y operativas. EL SGA ofrece un marco para la gestión ambiental e implica tareas como formación, inspecciones, gestión de riesgos, establecer una política y objetivos (Campos, 2018).

En este sentido, para desarrollar un SGA dentro de una empresa, es importante que todos los procesos productivos, desde su creación, posean las medidas de seguridad necesarias para la elaboración del producto, el personal que labore en él y también para el ambiente (EEE, 2018).

Thermo Egg, es un producto con un proceso totalmente nuevo, que dentro de sí posee actividades que implican riesgos para la salud y el medio. Por lo tanto, es necesario e indispensable crear un sistema de seguridad que se ajuste al cumplimiento normativo encargado de la salud, la seguridad y la protección al ambiente; con dicho sistema, el proceso de Thermo Egg tendrá una base para llevar a cabo sus actividades en las condiciones apropiadas marcadas por la normatividad mexicana, para esto se han establecido los siguientes objetivos, general: Diseñar un sistema de seguridad integral basado en normativa mexicana para la producción de Thermo Egg y específicos: Diseñar instalaciones en condiciones seguras en la producción, equipamiento, abastecimiento y manejo de materiales de Thermo Egg; Diseñar un manual para las operaciones productivas de manera segura de Thermo Egg; Diseñar un manual, para el manejo de materiales en base a la normativa; Disminuir los riesgos inherentes para producir Thermo Egg.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de esta investigación, es necesario asegurar que todas las actividades se realizan de acuerdo a lo que establece la normativa mexicana en materia de seguridad ocupacional y medio ambiente. Durante la investigación se siguió la metodología descrita en la Figura 1, dividida en varias etapas, las cuales conforman tres aspectos claves para lograr el diseño del sistema de seguridad ocupacional y protección al medio ambiente, los cuales son la Prevención, la Protección y la Corrección.

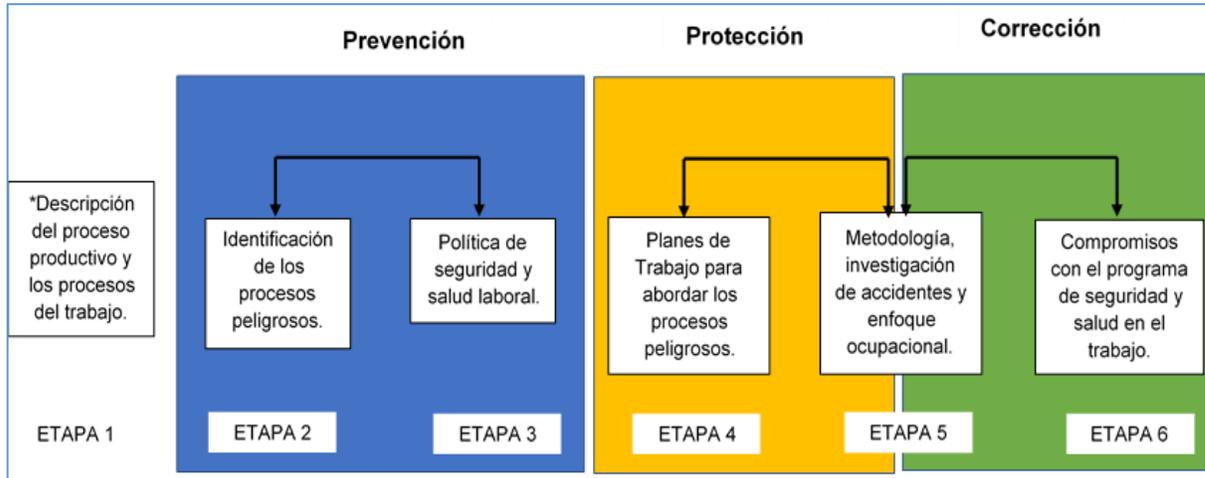


Figura 1. Metodología utilizada para la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción del proceso productivo y los procesos del trabajo:

La descripción de los procesos de producción de Thermo Egg se encuentran ya descritos en el mapa del proceso en la tesis “Diseño de Mezcla: Poliestireno Expandido y Cascarón de Huevo”, donde se explican paso a paso los procedimientos realizados para la elaboración de la mezcla conglomerada de poliestireno expandido reciclado y reforzado con cascarón de huevo (Pérez, 2017), con esta información se llevó cabo la identificación y clasificación de los riesgos.

PREVENCIÓN:

Comprendida por dos etapas de la metodología etapa dos y etapa tres, su finalidad es prevenir la ocurrencia de hechos que atenten contra el patrimonio moral y material de la empresa y de sus trabajadores (Álvarez, 2012).

Identificación de los procesos peligrosos.

La identificación de los procesos peligrosos se llevó a cabo mediante la implementación del análisis de riesgos apoyados en la metodología Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). Habiendo ya identificado y clasificado éstos, se procedió a realizar el análisis de los mismos, es decir, se estudió la posibilidad y las consecuencias de cada factor de riesgo con el fin de establecer el nivel de riesgo de la producción. Con el análisis de éstos se determinaron cuáles son los factores que potencialmente tienen un mayor efecto sobre la producción y el operador.

Con base en los resultados obtenidos, se realizó la posible distribución de la celda de manufactura de Thermo Egg. Con esta información se desarrollará la Metodología de Causa Raíz, que se detallará en el apartado de investigación de accidentes, abordado más adelante dentro de la investigación.

Política de seguridad y salud laboral.

Con base legal se redactará la política de seguridad y salud laboral de la empresa. Utilizando como referencia la norma NMX-SAST-45001-IMNC-2018 que ofrece las herramientas necesarias para establecer un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Dentro del apartado 4.2 de la NMX-SAST-45001-IMNC-2018 se habla sobre la política de seguridad y salud en el trabajo. Establece que la alta dirección deberá definir y autorizar la política de seguridad y salud en el trabajo dentro de la empresa (Ramírez, 2005).

PROTECCIÓN:

La finalidad de la etapa cuatro es asegurar la protección de instalaciones, edificaciones, equipos, información y personal de la empresa.

En esta etapa se diseñarán diferentes planes para lograr el cumplimiento, la inspección y sobre todo proporcionará los protocolos de actuación para determinar las acciones cuando se presente una contingencia.

Planes de trabajo para abordar los procesos peligrosos.

Plan de cumplimiento: Se define Plan de cumplimiento como el sistema de normas internas, procedimientos y protocolos que debe implantar una organización (normalmente empresas, aunque también entidades sin ánimo de lucro) para garantizar el respeto a la normativa aplicable y promover un adecuado

comportamiento ético, especialmente orientado a la prevención de la comisión de delitos en su ámbito de actuación (Hernández, 2005).

Plan de inspección: Se basa en monitorear y vigilar los riesgos o factores de riesgo existentes y medidas de control administrativas pertinentes en los procesos peligrosos, causantes de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales.

Plan de contingencia: Un plan de contingencia es un conjunto de procedimientos alternativos a la operatividad normal de cada institución. Su finalidad es la de permitir el funcionamiento de ésta, aun cuando alguna de sus funciones deje de hacerlo por culpa de algún incidente tanto interno como ajeno a la organización. Los objetivos del plan de contingencia son el de planificar y describir la capacidad para respuestas rápidas, requerida para el control de emergencias.

Protocolo de actuación: Una empresa tiene que estar preparada para dar auxilio inmediato y adecuado en caso que algún trabajador/a sufra un daño estando en el lugar de trabajo ("accidente"). Pero hay otras actuaciones que deben seguirse, y que también son obligatorias. Para estar preparados, la dirección de la empresa ha de organizar el modo de realizar estas actuaciones, formando al personal, asignando responsabilidades, y previendo todos los recursos materiales necesarios.

CORRECCION:

Parte de la etapa cuatro y la etapa cinco forman lo que es la corrección para este sistema de seguridad, estableciendo un área de análisis y diseño del sistema de seguridad.

Realizar un análisis de causa raíz:

La idea del Diagrama de Ishikawa es eliminar los problemas más graves en la organización hasta llegar a un punto en que solo queden problemas poco impactantes para la calidad. Y es precisamente por trabajar solo un problema a la vez y actuar sobre 6 de sus posibles causas, por lo que este análisis de causa raíz es considerado una herramienta muy útil y un pilar de la mejora continua en la gestión de riesgos.

Compromisos con el programa de seguridad y salud en el trabajo:

La seguridad y salud en el trabajo es un compromiso estratégico e irrenunciable, la prevención de riesgos es un factor clave que rige el liderazgo empresarial y que se apoya en estos principios: nada es más importante que la Seguridad y la Salud. Ni la producción, ni las ventas, ni los beneficios; todo accidente puede ser evitado; la Seguridad es una responsabilidad de Dirección y como tal debe de gestionarse; la Seguridad es una responsabilidad individual y una condición de empleo y de contratación para las empresas colaboradoras; todos los trabajos se deben planificar y ejecutar pensando en la seguridad, la de los empleados, empresas colaboradoras, visitantes, clientes, la de la comunidad y la del medio ambiente (Cortez, 2007).

3. Resultados

Siguiendo lo establecido en la metodología se han obtenido ya algunos resultados, que de a poco van especificando la manera en la que debe de distribuirse la futura planta de producción de Thermo Egg, para de esta manera minimizar los riesgos de su proceso. A continuación, se muestran resultados que especifican también, de qué manera se está identificando riesgos en el proceso y como estos se van a minimizar para cuando la planta de producción se ponga en marcha, garantizar el bienestar de los operadores y de la empresa misma.

Diseño de instalaciones seguras para la producción de Thermo Egg.

De acuerdo a las necesidades de operación para la producción de Thermo Egg, se obtuvo un bosquejo de cómo deberían de estar diseñadas las instalaciones de la planta de producción. Atendiendo a las actividades de lavado, secado y pulverización del cascarón de huevo, transformación de la materia prima, moldeado de la mezcla y secado de la mezcla, además de tomar en cuenta un almacén de materias primas y un almacén de productos terminados, en la Figura 2 se muestra el bosquejo de lo que deben ser las instalaciones para la producción de Thermo Egg.

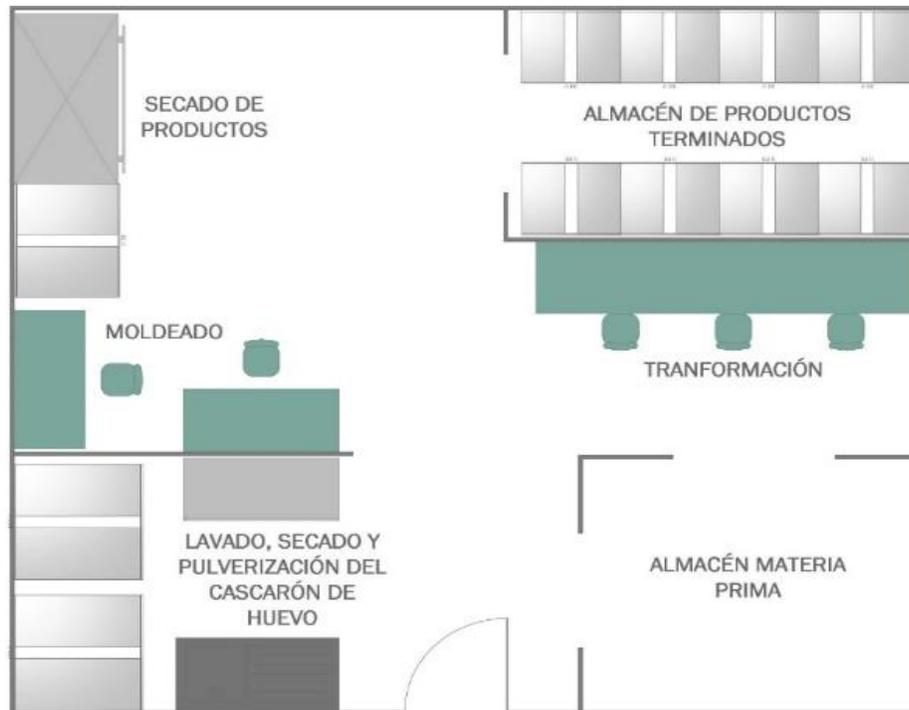


Figura 2. Diseño de instalaciones para la producción de Thermo Egg.
 Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de tener instalaciones en condiciones seguras en la producción, equipamiento, abastecimiento y manejo de materiales de Thermo Egg, se realizó un Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) que se puede observar en la Figura 3 y del cual se lograron obtener los Números Prioritarios de Riesgos (NPR) para cada operación crítica del proceso, para los NPR más altos se crearán planes de acción con los cuales se busca reducir fallos en el proceso y así disminuir riesgos en el mismo.

Análisis del Modo y Efecto de Fallas

Nombre de Proceso o Producto:	PRODUCCIÓN DE THERMO EGG
Encargado:	

Preparado por:	Cleotilde Anahí Álvarez Contreras	Página : 1 de 1
FMEA Fecha (Orig):	09/09/2019	Rev. M.I.I. ARPM

Pasos Clave del Proceso	Modos de Falla Potenciales (PROCESOS PELLIGROSOS)	Efectos de Fallas Potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles de Ocurrencia	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Resp.	Acciones Implementadas	S E V	O C U	D E T	N P R
¿Cuál es el paso del proceso?	¿De qué maneras puede este proceso ser peligroso?	¿Cuál es el impacto de las variables de los pasos clave cuando hay un fallo (cliente o requerimientos internos)?	¿Qué tan severo es el efecto para el cliente?	¿Qué causa que el paso clave falle?	¿Que tan seguido ocurre la causa o Modo de Fallo?	¿Cuáles son los controles existentes y procedimientos preventivos de Causa o Modo de Fallo?	¿Qué también pueden detectar la Causa o Modo de Fallo?		¿Cuáles son las acciones para reducir la Ocurrencia de la Causa o mejorar la Detección?	¿Quién es responsable de las acciones recomendadas?	Anotar las acciones implementadas. Incluye fecha de completación.				
LAVAR EL CASCARÓN DE HUEVO	Exposición del operador a bacterias que contiene el cascarón de huevo.	El operador puede contraer diferente tipo de infecciones.	9	Manejo de materiales erróneo; No utilizar EPP.	3	Inspección visual/manual. Instrucción de trabajo con atención a este proceso	6	162	Establecer un protocolo de lavado del cascarón de huevo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
	Contacto del operador con agua contaminada tras el lavado de los cascarones.	El operador puede contraer alguna enfermedad.	9	No utilizar EPP.	7	Inspección visual/manual.	6	378	Establecer un protocolo de lavado del cascarón de huevo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
MOLER EL CASCARÓN DE HUEVO	Inhalación de partículas de cascarón de huevo muy pequeñas.	El operador puede contraer enfermedades pulmonares y estomacales.	10	No utilizar EPP.	7	Inspección visual/manual.	6	420	Establecer un protocolo para la pulverización del cascarón de huevo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
	Inhalación de bacterias que contiene el cascarón de huevo.	El operador puede contraer diferente tipo de infecciones.	9	No utilizar EPP.	1	Inspección visual/manual.	6	54	Establecer un protocolo para la pulverización del cascarón de huevo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
	Accidente por manejar el molino de cascarón de huevo.	El operador esta expuesto a un accidente por manejo de maquinaria.	9	No conocer el manual de usuario; No utilizar EPP.	1	Inspección visual/manual.	6	54	Leer siempre el manual de usuario de la maquinaria utilizada. Utilizar siempre EPP.	El operador.					0
TRANSFORMACIÓN (DISOLVER EL UNICEL Y MEZCLARLO CON EL CASCARÓN DE HUEVO PULVERIZADO)	Contacto del operador con un solvente corrosivo.	El operador puede contraer alguna enfermedad. Quemaduras de primer grado en manos.	10	No utilizar EPP.	6	Inspección visual/manual.	6	360	Conocer el protocolo del proceso productivo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
	Inalación de vapores al utilizar un solvente para disolver el unicel.	El operador puede contraer enfermedades pulmonares.	10	No utilizar EPP.	3	Inspección visual/manual.	6	180	Conocer el protocolo del proceso productivo. Utilizar siempre el EPP.	El operador.					0
MOLDEADO DE LA MEZCLA DE ACUERDO AL PRODUCTO QUE SE ELABORA	Accidente por manejar la prensa para moldear la mezcla.	El operador esta expuesto a un accidente por manejo de maquinaria.	9	No conocer el manual de usuario; No utilizar EPP.	1	Inspección visual/manual.	6	54	Leer siempre el manual de usuario de la maquinaria utilizada. Utilizar siempre EPP.	El operador.					0

Figura 3. Análisis del Modo y Efecto y de Fallas para los procesos peligrosos de Thermo Egg.

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Debido a que Thermo Egg es una empresa que aún no entra en operaciones es de suma importancia realizar el análisis del proceso productivo encontrando fallas, riesgos y efectos en el ambiente, además de realizar el diseño de sus instalaciones de acuerdo a la normativa para que en el momento en el que se inicien operaciones la empresa no tenga más problemas con estos aspectos, todo esto anexo a lo que hasta ahora se tiene como resultado.

Como es posible observar en el diagrama del proceso descrito en la tesis “Diseño de Mezcla: Poliestireno Expandido y Cascarón de Huevo” (Pérez, 2017), existen muchos factores de riesgo a los cuales se encuentran expuestos los trabajadores que elaboren la mezcla, así como factores de afectación para el medioambiente.

Ya que se tienen como resultados el bosquejo de las instalaciones de la planta de producción de Thermo Egg y el AMEF de los procesos peligrosos, se llevará a cabo la elaboración de manuales, en los que se describirá la manera adecuada de realizar las actividades, así como un manual que especificará de qué manera debe de llevarse a cabo el manejo de materiales y de residuos dentro de la planta, cumpliendo así con todos los objetivos de la investigación.

Como seguimiento a la investigación, se realizará un plan de auditoría estableciendo un periodo de implementación para garantizar que todas las actividades dentro de la planta se estén llevando a cabo de la manera correcta.

5. Referencias

- Álvarez, H. F. (2012). *Salud Ocupacional: Guía práctica*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Campos, S. F. (2018). *Guía para la implementación de la Norma ISO 45001*. FREMAP.
- Cortez, D. J. (2007). *Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales: Seguridad e Higiene del Trabajo*. España: TEBAR.
- EEE. (11 de Abril de 2018). *Gestión ambiental en las empresas y organizaciones*. Obtenido de <https://www.nueva-iso-14001.com/2018/gestion-ambiental-empresas/>
- Hernández, Z. A. (2005). *Seguridad e Higiene Industrial*. México D.F. : LIMUSA S.A. de C.V.
- Pérez, A. R. (7 de Diciembre de 2017). Diseño de Mezcla de Poliestireno Expandido con cascarón de huevo. *Tesis de Maestría*. Misantla, Veracruz, Mexico.
- Ramirez, C. C. (2005). *Seguridad Industrial: Un enfoque integral*. México, D.F.: LIMUSA, S.A. de C.V.
- Saldago, B. J. (2006). *Higiene y Seguridad Industrial*. EXODO, ED.
- STPS. (1997). Obtenido de www.stps.gob.mx
- STPS. (2012). *Secretaría del Trabajo y Previsión Social*. Obtenido de <http://asinom.stps.gob.mx>

6. Notas Biográficas

Cleotilde Anahí Álvarez Contreras, es licenciada en Pedagogía por el Centro de Estudios Superiores de Martínez de la Torre y de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0437@itsm.edu.mx.

La **MII. Ana Roselyn Pérez Méndez**, es MII. por el Instituto tecnológico Superior de Misantla y actualmente es docente de la carrera de Ingeniería Industrial en mismo instituto

La **MCA. Elizabeth Salazar Hernández**, es Ingeniera Ambiental por la Universidad Veracruzana y Maestra en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y por la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, Alemania. Actualmente es profesora del Instituto Tecnológico de Misantla.

El **MC. Saúl Reyes Barajas**, es Ingeniero Electromecánico por el Tecnológico de Cerro Azul y Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el área de control y jefe de carrera de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **MII. Mario Pérez Méndez**, es maestro en Ingeniería Electromecánica e Industrial por el Instituto tecnológico Superior de Misantla y actualmente es docente de ambas carreras.

Sistema Trazador de Curvas Voltaje Corriente con Ajuste y Estimación de Parámetros Usando Propuesta Metodológica

Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Profesor Investigador¹.

Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Profesor Investigador, es Profesor de Ingeniería en Sistemas Automotrices en la Universidad Politécnica de Puebla, Juan C. Bonilla, Puebla. Mail. mario.espinosa@up Puebla.edu.mx

Resumen— Presentamos la implementación de un sistema trazador de curvas voltaje corriente (VI), basado en un sistema de medición de corrientes por medio de un electrómetro Keithley 6517B y un sistema de control de voltaje basado en el mismo instrumento. Este nuevo sistema ha permitido evaluar los parámetros de desempeño y estimar los parámetros eléctricos de celda solar comercial y orgánica.

Palabra(s) clave— Fotovoltaico, electrómetro, parámetros de desempeño, parámetros eléctricos.

Abstract— We present the implementation of a voltage current (VI) curve tracer system, based on a current measurement system by using of a Keithley 6517B electrometer, and a voltage control system based on the same instrument. This new system has allowed to evaluate the performance parameters and estimate the electrical parameters of the commercial solar cell and organic.

Key words – Photovoltaic, electrometer, performance parameters, electric parameters.

1. Introducción

Las curvas VI obtenidas de un dispositivo semiconductor y en particular de un dispositivo fotovoltaico son referentes de su rendimiento. Pero este comportamiento puede ser afectado por múltiples factores que intervienen durante su vida, ya sea en el proceso de fabricación o en condiciones de uso diario, por ejemplo: intensidad de radiación, temperatura, suciedad, tiempo de operación, degradación de electrodos, degradación de película activa, entre los principales. Pero el rendimiento no es el único interés en el proceso de fabricación, un aspecto igual de relevante son los parámetros eléctricos, los cuales son el eslabón de unión entre la geometría, tipo de material y tipo de estructura empleada con los resultados del desempeño final. Para conocer los parámetros de desempeño Nelson (2013) determina la eficiencia de conversión de potencia, la cual es evaluada a partir de conocer puntos característicos sobre la curva VI en condiciones de iluminación constante. Por otro lado, para determinar los parámetros eléctricos, existen grupos de investigación como el de Muñoz Lasso (2003) que han estado enfocados en utilizar modelos teóricos aproximados del diodo con la inclusión de resistencias parasitas, para ajustar estos modelos de acuerdo a las variables eléctricas teóricas. En este sentido, la variedad de modelos empleados ha originado que la estimación de estos parámetros eléctricos sea una tarea compleja. Otro aspecto delicado es el instrumento de medición empleado, el cual ha evolucionado desde multímetros de alta precisión, osciloscopios en modo de trazo XY, entre otros, pero ninguno de ellos garantiza sensibilidades en el rango de pA como se requiere. Y aunque existen dispositivos comerciales especializados que realizan este escaneo de curvas VI a diferentes intensidades de iluminación y con estimación de los parámetros de desempeño. El problema más grande de estos sistemas es su alto costo monetario, así como su limitación para estimar parámetros eléctricos.

Así, la propuesta en el presente trabajo es integrar un sistema que permita obtener experimentalmente las curvas VI, así como proponer una nueva metodología para evaluar parámetros eléctricos del dispositivo fotovoltaico. Este proceso de estimación marca un diferencial con otros trabajos igualmente desarrollados, como por ejemplo con LabVIEW (Abdulkadir, Samosir y Yatim, 2013).

2. Desarrollo

Método.

El sistema trazador de curvas está constituido en forma modular. A) El primer módulo encargado del proceso de medición, el cual involucra un electrómetro marca Keithley 6517B utilizado como una fuente controlada de voltaje y como un medidor de corriente. B) el segundo módulo es el control de iluminación, la cual incluye una cámara con control y medición de intensidad de iluminación.

La propuesta metodológica está basado en el análisis de datos de curvas VI experimentales para estimar parámetros eléctricos y de desempeño. El análisis es realizado por un algoritmo que puede ser implementado en LabVIEW, Matlab o algún otro software que permita generar curvas VI teóricas basadas en el modelo de

una celda solar y así comparar el área bajo la curva de cada una de ellas con la curva VI experimental. El mejor ajuste es seleccionado por la mínima diferencia de áreas.

Sistema trazador de curvas.

La Figura 1 muestra la integración metodológica del sistema trazador de curvas VI en su etapa de caracterización experimental.

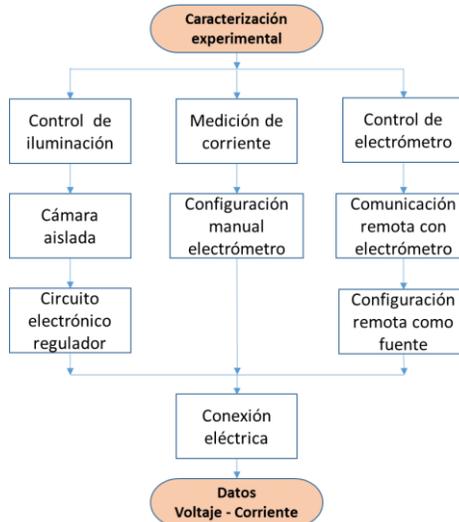


Figura 1: Metodología para implementar la etapa de caracterización experimental

A) Medición de corriente

El electrómetro Keithley modelo 6517B mostrado en la Figura 2, es el instrumento para realizar el proceso de medición con rangos: en voltaje de 1 μV a 210 V y en corriente de 10 μA a 21 mA.



Figura 2: Panel frontal del electrómetro Keithley 6517B

La configuración empleada es remota usando el puerto RS232 para tener control de sus funciones básicas como fuente de voltaje y medición en la pantalla frontal. Para realizar la conexión del electrómetro con la computadora se utiliza el cable con conector DB9-RS232 y USB.

Los pasos seguidos de configuración del dispositivo en forma manual para comunicación con el puerto.

- 1) Oprimir el botón MENU
- 2) Seleccionar la opción COMMUNICATION
- 3) Seleccionar RS-232, dentro de esta:
- 4) Seleccionar la velocidad de transmisión de baudios BAUD, seleccionar 9600
- 5) Seleccionar TERMINATOR y dentro de esta opción <CR+LF>
- 6) Seleccionar el flujo de control FLOW-CTRL y dentro de esta opción NONE (ninguna)

El instrumento durante su operación de medición debe de seguir los siguientes pasos, para realizar la medición de corriente con corrección en cero según el manual del dispositivo (Model 6517B Electrometer User's Manual, 2008).

- 1) Seleccione la función V ó I
- 2) Presione Z-CHK para habilitar Zero Check
- 3) Seleccione el rango para la medición
- 4) Presiona REL para poner a cero el instrumento

- 5) Presione Z-CHK para deshabilitar la comprobación de cero
- 6) Las lecturas ahora se pueden tomar de la manera normal

La forma de conectar es usando cable triaxial (Triaxi) modelo 237-ALG-2: Conector Triaxial macho de 3 ranuras en un extremo y tres pinzas de cocodrilo en el otro de bajo ruido de 2 m. En la Figura 3 se presenta el esquema eléctrico de conexión de la fuente de voltaje y el medidor de corriente usando el cable triaxial.

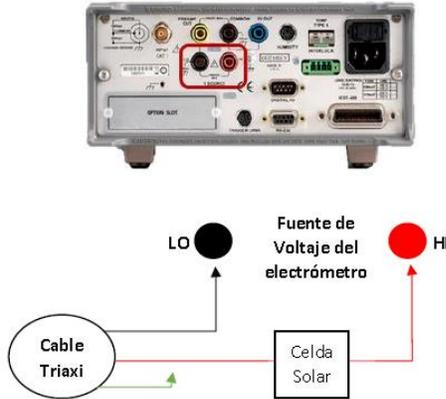


Figura 3: Esquema eléctrico de conexión para medir corriente con voltaje aplicado usando el electrómetro

En el esquema de conexión se puede apreciar las terminales (rojo y negro) usadas para alimentación y la tercera terminal (verde) es utilizada para protección contra descargas eléctricas. La celda solar es conectada en serie para medir la corriente.

B) Control de iluminación

Para iluminar el dispositivo fotovoltaico se requiere un sistema ópticamente aislado, que elimine fuentes no deseables como es el sol o alguna lámpara externa al experimento. En la figura 4 se muestra el espacio aislado creado para iluminar el dispositivo fotovoltaico.

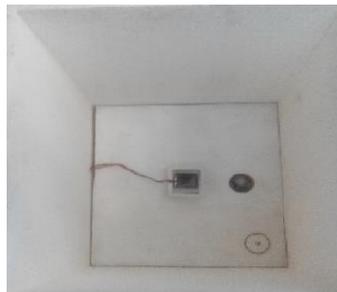


Figura 4: Vista superior de la cámara para el control de iluminación

La cámara es un espacio cerrado de 25 cm X 25 cm X 40 cm, el cual contiene al fondo y en el centro el dispositivo fotovoltaico y más hacia la derecha un orificio que permite el acceso de la iluminación hacia un sensor de potencia óptica. Este sensor está conectado a un medidor de potencia solar H115 de la marca NAHEIM SCIENTIFIC, con el cual se determina la irradiancia en unidades del sistema internacional de W/m^2 . Las paredes de la cámara son blancas para permitir la máxima homogeneidad de la iluminación, la cual es provista por una lámpara de luz blanca a 100W de potencia eléctrica. La intensidad de iluminación es regulada con un circuito basado en un control de fase de la señal de alimentación eléctrica de corriente alterna, por medio de un triac y un diac. La Figura 5 muestra el diagrama del circuito implementado, obteniendo variaciones de irradiancia de 0 a $550 W/m^2$.

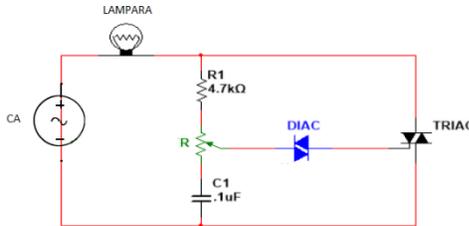


Figura 5: Diagrama del circuito eléctrico para el control de intensidad de iluminación

Con este control de intensidad podemos obtener curvas VI en oscuridad, a partir de la cual se pueden estimar parámetros básicos de la celda solar en aproximación de un diodo y también se pueden obtener curvas VI con variación de intensidad de iluminación, a partir de las cuales se pueden estimar los parámetros de desempeño y eléctricos.

C) Control del electrómetro

La interfaz de control del electrómetro está basado en comunicación a través del puerto serial o puerto IEEE 488 (GPIB). En la Figura 6 se presenta el diagrama a flujo para controlar la excitación de voltaje en el dispositivo. En la configuración, el electrómetro se programa la fuente con incrementos escalonados de 0.02 V.

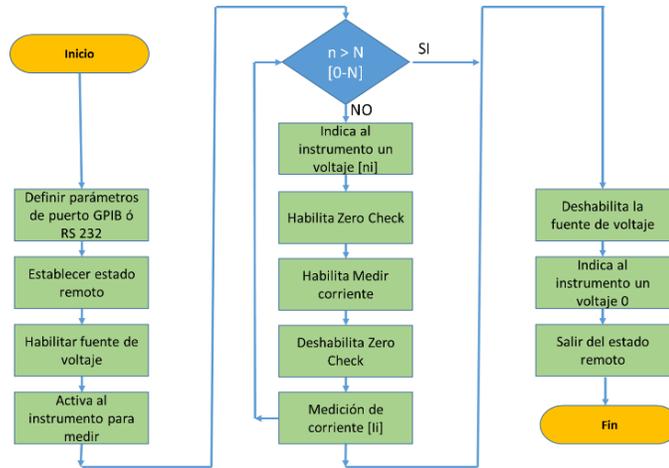


Figura 6: Diagrama de flujo para el control del electrómetro

El diagrama está formado por una estructura de secuencia: antes de la estructura se define la configuración del puerto (velocidad de transmisión a 9600 baudios, conexión a través del puerto usb, bit de paridad 0, bit de paro 1 y ningún control de flujo) con parámetros iguales a los definidos en la configuración manual del electrómetro. Las instrucciones que reconoce el electrómetro se describen a continuación: (:SYSTem REMote) inicializa el instrumento en operación remota por medio de la PC; (:SYSTem KEY 19) habilita la fuente de voltaje; (:INIT:CONT ON) saca al instrumento del estado inactivo; después entra en un ciclo, en donde se indica el despliegue de la medición de corriente como resultado de un voltaje de excitación sobre la pantalla frontal del electrómetro, la amplitud de la excitación de voltaje depende de la iteración del ciclo n, que tiene una variación desde 0 a N. Las etapas finales de la estructura de secuencia indican habilitación de la fuente voltaje, un voltaje de salida cero, salida del estado remoto del instrumento y finalmente un almacenamiento automático del vector de voltajes generados.

El ciclo presenta 5 pasos (línea central de Figura 6) al final de ellos se toman las muestras de corriente y voltaje. Es necesario definir tiempos de retardo para asegurar estabilidad del sistema y tiempo para toma de medición de parámetros eléctricos, la recomendación es que la suma total de los tiempos de espera sea mayor 12 segundos. Dentro del ciclo, primero se indica al electrómetro (:SOURce:VOLTage) que envíe a su puerto de voltaje (posicionado en la parte trasera del instrumento) el valor de entrada, este valor corresponde al ciclo (i=0 V=0, i=1 V=0.02, i=2 V=0.04, ..., i=N V=N*0.02), donde N es el número de iteraciones que se le indican al programa de inicio. Lo siguiente es parte del proceso de visualización del resultados de medición de corriente, la indicación (:SYSTem:ZCheck ON) habilita la revisión a cero en el proceso de medición, después (:SYSTem:KEY 22) habilita la función a medir corriente. Los últimos dos casos por describir, permiten deshabilitar la verificación a cero, lo que permite visualizar la respuesta en la pantalla del instrumento y por

último se vuelve habilitar la verificación a cero, para comenzar desde ese estado en la próxima iteración. Las mediciones obtenidas son almacenadas en columnas de datos de voltaje y corriente en una hoja de datos.

Propuesta metodológica para estimar parámetros fotovoltaicos.

El algoritmo de evaluación permite realizar un proceso de análisis de datos y despliegue de resultados. La descripción se realiza a continuación por secciones debido a lo extenso del mismo. La lógica de ejecución de las secciones involucradas se muestra en la metodología plasmada en la Figura 7.

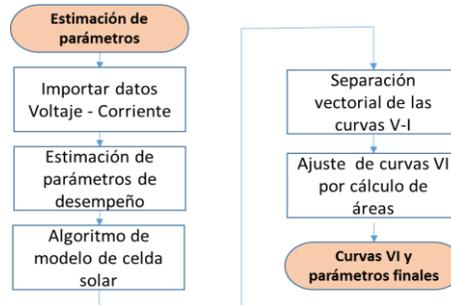


Figura 7: Metodología para la estimación de parámetros en LabVIEW y curva VI teórica

Sección 1.- Para realizar evaluación de los parámetros de desempeño y el ajuste de las curvas VI experimentales. Primero es necesario importar los datos experimentales.

Sección 2.- Los parámetros de desempeño son el factor de llenado (*FF*) definido por la Ecuación (1), el cual establece una relación de la potencia real entregada por la celda fotovoltaica y la potencia imaginaria ideal que debería entregar. Por otro lado, la eficiencia de conversión de potencia (η) definido por la Ecuación (2), establece la proporción de energía solar detectada por la celda que es aprovechada y convertida en potencia eléctrica.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\eta = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{opt}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Para la identificación de los puntos característicos se pueden observar la Figura 8, donde se presenta su ubicación sobre la curva teórica VI con iluminación. El voltaje de circuito abierto V_{oc} ubicado en la intersección de la curva con el eje de corrientes. La corriente de corto circuito I_{sc} se encuentra en la intersección de la curva con el eje de voltajes. El voltaje y corriente de máxima potencia V_{max} y I_{max} respectivamente, se encuentran ubicados en la intersección con los ejes desde el punto de máxima potencia P_{max} .

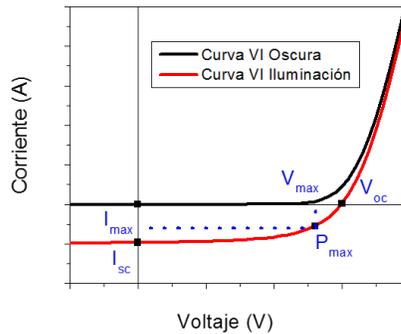


Figura 8: Curva VI oscura y curva VI con iluminación teóricas

La identificación de los puntos característicos se realiza usando los datos experimentales de corriente y voltaje. En la Figura 9 muestra el diagrama de flujo para identificar los puntos característicos de la curva VI desde los vectores de datos almacenados.

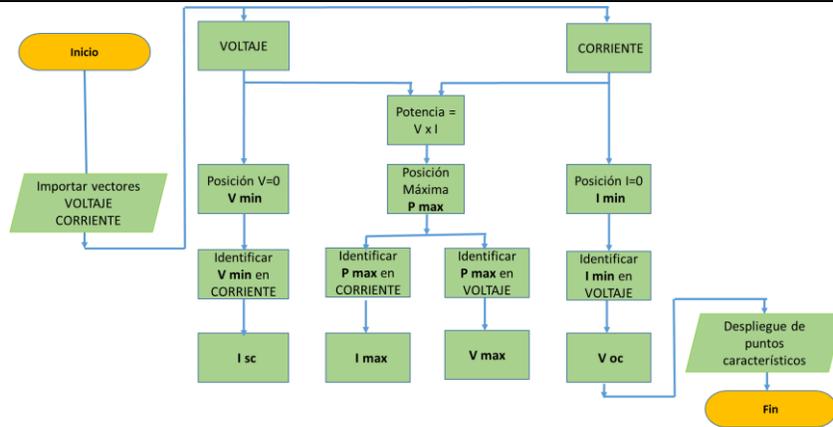


Figura 9: Diagrama de flujo para la identificación de puntos característicos

A la izquierda del diagrama se observa el llamado de los datos experimentales para voltaje y corriente. La posición y valor del voltaje mínimo V_{min} ($V=0$), con ésta posición se identifica el valor de corriente de corto circuito I_{sc} . Con la identificación de la posición de la corriente mínima I_{min} ($I=0$), se identifica el voltaje de circuito abierto V_{oc} . Al realizar la multiplicación de corriente y voltaje que representa la potencia eléctrica, identificando el valor y posición de potencia máxima (P_{max}), con ésta posición se puede identificar el V_{max} y la I_{max} .

Sección 3.- El ajuste de la curva VI experimental se realiza de acuerdo al modelo teórico de la celda solar (Muñoz Lasso, 2003), que se basa en la competencia de tres corrientes incluidas en la Ecuación (3), la corriente originado por iluminación I_L , la corriente del modelo del diodo I_D con inclusión del factor de idealidad n y la caída de tensión en la resistencia en serie R_S y la corriente debido a la presencia de corrientes de fuga, definida por una resistencia paralela R_p .

$$I = -I_L + I_0 \left[e^{\frac{(V-IR_S)}{nV_T}} - 1 \right] + \frac{V-IR_S}{R_p} \quad \text{Ecuación (3)}$$

La corriente de saturación I_0 y el factor de idealidad son normalmente los parámetros elegidos para realizar el ajuste, con el voltaje térmico $V_T = 0.025 V$ a temperatura ambiente.

Sección 4.- Los vectores de voltaje y corriente obtenidos deben ser almacenados en una matriz general. Aunque cada curva debe ser independiente para poder ser tratados numéricamente.

Sección 5.- La estimación del mejor ajuste (a la curva VI experimental) se obtiene aplicando el procedimiento implementado en el diagrama de flujo de la Figura 10, a cada una de las R curvas VI generadas.

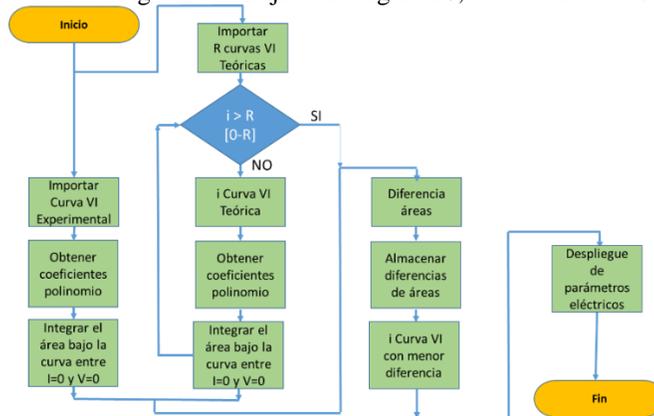


Figura 10: Diagrama de flujo para estimar el mejor ajuste por aproximaciones sucesivas.

Para los vectores Corriente y Voltaje de cada curva VI generada, se obtienen los coeficientes del polinomio en su aproximación matemática. Posteriormente se calcula el área bajo la curva VI integrando desde el punto I_{sc} hasta el punto de V_{oc} . El área de cada curva VI generada se compara con el área de la curva VI

experimental. El resultado de la comparación de áreas permite determinar el mejor ajuste, a partir de la menor diferencia entre las curvas VI generadas y la experimental.

Sección 6.- La visualización de las curvas VI es el proceso donde se presentan y comparan las R curvas VI generadas por el algoritmo de evaluación, con sus respectivas contrapartes, las curvas VI experimentales con y sin iluminación.

3. Resultados

La implementación del trazador de curvas VI mostrado en la Figura 11, es el desarrollo e implementación de un sistema funcional de caracterización de dispositivos fotovoltaicos, que incluye un control de la intensidad de iluminación (cámara), una tablilla de conexiones generales y un instrumento de medición de corriente con fuente de voltaje programada incluida (electrómetro).



Figura 11: Sistema trazador y de análisis de curvas VI

Para determinar la funcionalidad de la etapa de caracterización experimental se obtuvo la curva VI oscura de una celda solar comercial estándar, los resultados se muestra en la Figura 12.

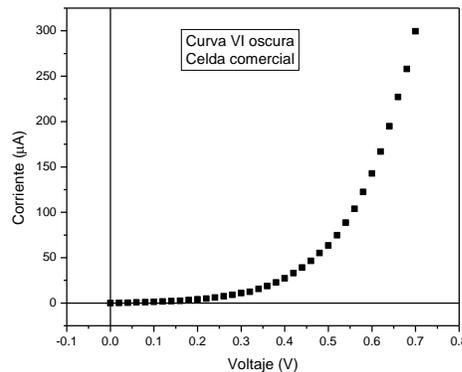


Figura 12: Curva VI experimental oscura de una celda solar comercial estándar

Para verificar la funcionalidad de la propuesta metodológica de estimación de parámetros eléctricos y de desempeño, se utilizan resultados de un proceso de caracterización usando celda solar orgánica de multicapa ITO/P3HT:PCBM/Al (Indium Tin Oxide/poly(3-hexylthiophene):fulereno/aluminio), la película activa P3HT:PCBM con espesor de 50nm, concentración 1:1 y con un proceso de calentamiento por contacto por 4 minutos a 140°C. La celda solar multicapa es seleccionada debido a las investigaciones previas por diversos grupos como el formado por Foertig, Rauh, Dyakonov y Deibel, (2012), lo cual permite la comparación de los resultados obtenidos con este sistema. La Figura 13 muestra la visualización de la gráfica de la curva VI experimental con iluminación.

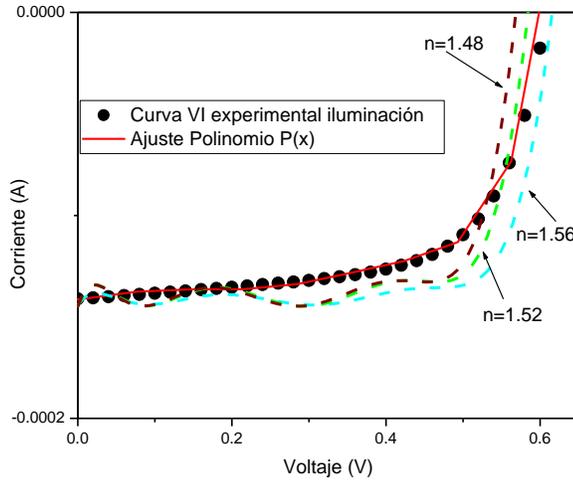


Figura 13: Curva VI experimental con iluminación de 100 mW/cm² de una celda orgánica.

La Tabla 1 muestra los resultados del proceso de ajuste de la curva VI experimental con iluminación de la celda orgánica al modelo teórico de una celda solar, utilizando la metodología de aproximación por cálculo de áreas bajo la curva entre I_{sc} y V_{oc}. Con un polinomio característico de la curva VI experimental $P(x) = -1.41E-4 + 5.71E-5 X + 6.9E-5 X^2 - 0.002 X^3 + 6.73E-5 X^4 + 0.042 X^5 - 0.054 X^6 - 0.217 X^7 + 0.527 X^8 - 0.296 X^9$, encontrado con un ajuste numérico.

Integral bajo la curva del polinomio I _{exp} = 7.38E-5			
Curva teórica, Ecuación (3)	n	Diferencia de áreas	
1	1.48	14.9E-5	✓
2	1.52	15.2E-6	x
3	1.56	15.6E-6	x

Tabla 1.- Resultados del cálculo de diferencia de áreas usando la celda orgánica

El mejor ajuste encontrado por el proceso corresponde a un factor de idealidad de n=1.48. Por lo tanto, los parámetros eléctricos son determinados a partir de la Curva teórica 1.

La Tabla 2 contiene los parámetros de desempeño y eléctricos estimados utilizando el algoritmo implementado y su comparación con otros autores.

	Voltaje circuito abierto (V _{oc})	Corriente de corto circuito (I _{sc})	Factor de llenado (FF)	Eficiencia de conversión (η)	Resistencia serie (R _s)	Corriente de saturación (I ₀)	Factor de idealidad (n)
Propuesta metodológica	0.6 V	0.14 mA	0.65	0.78 %	50 Ω	27 pA	1.48
(Padinger, Rittberger y Sariciftci, 2003)	0.5 V	0.53 mA	0.57	2.5%			
(Mihailetchi, 2005)	0.61 V	0.49 mA	0.65	2.8%			
(Foertig et al., 2012)							1.2-1.3

Tabla 2.- Comparación de parámetros en estructura ITO/P3HT:PCBM/AI

4. Conclusiones

La caracterización experimental del sistema está basado en un instrumento de excitación de voltaje con incrementos >5mV lo que propicia curvas VI con alta resolución (mayor a 100 puntos) y medición de corriente con capacidad en el rango de aA, esta sensibilidad es ideal para determinar propiedades eléctricas del diodo usadas en el estudio teórico de las celdas solares. En el mismo sentido, la comparación entre los parámetros estimados de la estructura fotovoltaica usando el algoritmo desarrollado y los reportados por la literatura demuestran que la propuesta metodológica para evaluar parámetros a partir de curvas VI es funcional. Así, podemos comentar que el sistema implementado es una herramienta con propiedades ampliadas de acuerdo a

los sistemas comerciales convencionales, los cuales normalmente están limitados a determinar solo parámetros de desempeño.

Lo implementado en el sistema hasta el momento cumple con un proceso de medición y análisis, aplicando técnicas normalmente bien conocidas por el autor, pero las nuevas tendencias en la investigación de dispositivos fotovoltaicos requieren complementar el proceso de medición hacia técnicas basadas en altas resistencias y cargas dinámicas y este sistema tiene la capacidad de extender hacia esta dirección sus alcances.

5. Referencias

- Nelson, J. (2013). *The physics of solar cells*. Ed. Imperial College Press.
- Muñoz Lasso, A. (2003). Modelo circuital de células solares de película delgada. *Tecnociencia*, 5(1), 33-50.
- Abdulkadir, M., Samosir, A. S., & Yatim, A. H. (2013). Modeling and Simulation of a Solar Photovoltaic System, Its Dynamics and Transient Characteristics in LABVIEW. *Journal, IJPEDS*, 3(2), 185-192.
- Model 6517B Electrometer User's Manual*. (2008).
- Foertig, A., Rauh, J., Dyakonov, V., & Deibel, C. (2012). Shockley Equation Parameters of P3HT:PCBM Solar Cells derived by Transient Techniques, *J. Physical Review B*, 86, 1-8.
- Padinger, F., Rittberger, R. S., & Sariciftci, N. S. (2003). Effects of Postproduction Treatment on Plastic Solar Cells. *Advanced Functional Materials*, 13, 85-88.
- Mihailetchi, V. D. (2005). *Device Physics of Organic Bulk Heterojunction Solar Cells* (tesis de doctorado). Universidad de Groningen, Países Bajos.

6. Notas Biográficas

El **Dr. Mario Espinosa Tlaxcaltecatl** es profesor investigador de Ingeniería en Sistemas Automotrices en la Universidad Politécnica de Puebla, Juan C. Bonilla, Puebla, México. Terminó sus estudios de postgrado en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, San Andrés Cholula, Puebla, México.

Estudio de localización de una planta productora de xilitol en México, a partir de olote de maíz bajo un esquema de desarrollo sostenible.

Mónica Paulina Lozano Rodríguez, Ing.¹, Margarito Landa Zárate, MII.², María Guadalupe Aguilar Uscanga, Dra.³

Mónica Paulina Lozano Rodríguez, Ingeniera, estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlozanorodriguez26@gmail.com

² Margarito Landa Zárate, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlandaz@itsm.edu.mx

³ María Guadalupe Aguilar Uscanga es profesor e investigador en el Instituto Tecnológico de Veracruz- UNIDA, Ver. Mail: gaguilar@itver.edu.mx, maria.au@veracruz.tecnm.mx

Resumen— El xilitol es un edulcorante natural no calórico, contiene un poder edulcorante similar a la sacarosa, pero con un valor calórico inferior (2.4 kcal), además el xilitol tiene propiedades terapéuticas tales como: anti-cariogénico, independiente de la insulina, entre otros. En el Instituto Tecnológico de Veracruz se han realizado estudios sobre el mejoramiento del proceso de producción de xilitol a partir de olote de maíz, bagazo de sorgo y caña de azúcar, obteniendo rendimientos (Yx/s) de: 0.56, 0.58 y 0.67 g xilitol/g xilosa, respectivamente. En un estudio realizado se encontró que en el 2018 la demanda de xilitol en México fue de 876.94 toneladas/año y que en México no se produce. Uno de los residuos más adecuados para producir xilitol en México es el olote de maíz, ya que en el 2018 se generaron 4.2 millones de toneladas. Lo cual haría factible la instalación de una planta productora de xilitol en el país. Con la implementación de la metodología de puntos ponderados se determinó que el estado de Sinaloa y específicamente el municipio de Los Mochis es el lugar idóneo para la localización de una planta de xilitol, debido a que cuenta con el 22% de la producción nacional.

Palabra(s) clave- Xilitol, olote de maíz, rendimiento, Optimización, demanda.

Abstract – Xylitol is a natural non-caloric sweetener belonging to the group of polyalcohols with sweetening power similar to sucrose but with a lower caloric value (2.4 kcal), 40% less than sucrose (4 kcal). Coupled with this, xylitol has therapeutic properties, for example, it is anticariogenic and insulin independent, it fixes calcium in the bones, and prevents respiratory problems. In the Veracruz Institute of Technology, studies have been carried out for more than ten years on the improvement of the process of xylitol production from agro-industrial waste (sweet sorghum and sugarcane bagasses, corn cob), obtaining yields (Yx/s) between 0.56, 0.58 and 0.67 g xilitol/g xylose, respectively. In one study, it was found that in 2018 the demand for xylitol in Mexico was 876.94 tons per year, but no xylitol is produced nationally. The appropriate residue to produce xylitol is corn cob; already in 2018, 4.2 million tons were generated, the state of Sinaloa being the first producer nationwide, with 22% of the total, making this state and Los Mochis an ideal location for the first xylitol producing plant.

Key words – Xylitol, corn cob, yield, optimization, demand

1. Introducción

Los edulcorantes se pueden clasificar de diferentes: por su origen: naturales y artificiales, por su estructura: carbohidratos, polialcoholes, glucósidos, proteínas y otros, por su valor nutritivo: nutritivos y no nutritivos, por su valor calórico: dietéticos, no dietéticos. Basándose en esa clasificación el xilitol se puede considerar como un edulcorante, natural, no calórico, perteneciente al grupo de los polialcoholes y de bajo valor calórico. El xilitol es un polialcohol de cinco átomos de carbono, que cuenta con el mismo poder edulcorante que la sacarosa, pero posee un contenido calórico de 2.4 Kcal/g comparado con 4 Kcal/g de la sacarosa (Mussatto, *et al.*, 2012), se encuentra naturalmente en pequeñas cantidades (menos de 0.9g/100g), en varias frutas y vegetales que constituyen parte de la dieta humana (ciruela amarilla, fresa, coliflor, frambuesa, berenjena, lechuga, espinaca, cebolla, zanahoria, plátano, castaña, olote de maíz levadura de cerveza) (Larosa, 1998). Entre sus propiedades fisicoquímicas, se presenta que es un sólido cristalino en forma de cristales ortorómbicos o en una forma meta-estable como cristales monocíclicos. Cuenta con un calor de disolución negativo de -36.6 (cal g-1

a 25°C), solubilidad de 63(%DS), peso molecular de 152.15 g mol⁻¹ y un punto de fusión entre 92-96° C. Es un compuesto altamente estable en solución y en condiciones normales de procesamiento de alimentos (Zumbe, *et al.*, 2001). Estas propiedades son importantes para el ser humano por los beneficios a la salud que se han reportado: prevención de caries (Isokangas, *et al.*, 2000), metabolismo independiente de la insulina, favorece la fijación del calcio en los huesos ya que su uso produjo el incremento en la densidad ósea debido a la habilidad del xilitol de promover la absorción intestinal del calcio (Dean, 2002). Acción antimicrobial contra gérmenes: Esta propiedad es enfocada a los estudios realizados para la otitis media que es la inflamación del oído medio, donde se realizaron pruebas a niños donde se demostró que el xilitol previene el desarrollo de la otitis media con una dosis diaria de 8.4 – 10 g de xilitol al día por un periodo de 2 a 3 meses (Uhari, *et al.*, 2007).

Actualmente existen en el mercado una gran cantidad de productos diferentes y de distintas marcas que contienen xilitol para múltiples propósitos, a continuación, se enlistan productos que contienen xilitol: solución para lavados nasales, dulces, gomas de mascar, enjuague bucal, pasta de dientes, edulcorante en polvo y mermeladas | (Gastélum, 2007). Debido a estos diversos usos la demanda internacional de xilitol ha aumentado constantemente en un 6% anual a causa de los importantes beneficios siendo el principal consumidor el mercado de alimentos. Se registran dos factores importantes para el aumento del consumo uno los problemas de salud, que impulsan el crecimiento del mercado de edulcorantes alternativos y otro es el aumento de la conciencia de los productos químicos libres de azúcar de bajas calorías obtenidos orgánicamente. Según lo reportado por Diptarka Dasgupta (2017) a nivel mundial, el xilitol tiene un vasto mercado que comprende una demanda anual de 161.5 millones de toneladas métricas (MMT) equivalente a un valor de US \$ 670 millones en 2013, y se pronostica que alcanzará los 250 MMT para 2020, casi 1.5 veces su requerimiento actual con un mercado global valor de US \$ 1 mil millones.

La producción industrial de xilitol está basada en la hidrogenación catalítica de xilosa derivada principalmente de residuos agroindustriales. Este proceso requiere del uso de alta presión (20 atm) y temperatura (400°C), e involucra varios pasos de purificación, lo cual tiene un impacto en el precio final. Alternativamente, el xilitol puede ser producido por la vía biotecnológica, que puede ser más económica, al utilizar condiciones amigables de presión y temperatura, y muy pocas etapas de purificación donde las enzimas o microorganismos actúan específicamente sobre la conversión de xilosa a xilitol (Rafiquil, *et al.*, 2013).

A lo largo de los últimos años se ha presentado un aumento en el interés por el uso de los residuos agroindustriales (lignocelulósicos) en diferentes industrias. Esta tendencia se argumenta ya que tiene sus orígenes en el bajo costo y la elevada abundancia y disponibilidad de estos residuos a nivel mundial, unido a la necesidad de minimizar el deterioro medioambiental provocado por la disposición de los mismos. Las principales investigaciones han estado dirigidas a desarrollar tecnologías que los utilicen como materias primas en la producción de biocombustibles, pulpas, papel y productos químicos de nueva generación y alto valor agregado. (Barragán, 2008).

La biotecnología permite la bioconversión de residuos agroindustriales en productos de alto valor en el mercado a través de procesos de extracción directos o de transformación por química o microbiológica (Moldes, 2002). En uso de subproductos agroindustriales ha tenido un aumento en el interés de la preservación de la calidad del medio ambiente, al considerar el desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales. La búsqueda de materias primas de bajo costo y fácil adquisición que puedan ser utilizados como sustratos fermentables (fuentes de C o N) constituye uno de los retos más interesantes de la biotecnología (Barragán, 2008). La gran disponibilidad de residuos agroindustriales en México (alrededor de 100 millones de toneladas por año) tales como: el bagazo de caña, paja de arroz, mazorca de maíz, bagazo de sorgo dulce, olote de maíz hace de ellos una materia prima que puede ser convertida a productos con valor agregado por rutas biotecnológicas como lo es el xilitol. Estos residuos agroindustriales, están constituidos principalmente de lignina, hemicelulosa y celulosa, en donde la hemicelulosa es el principal sustrato a degradar para obtener la xilosa que es la materia prima para producir el xilitol (Chandel, *et al.*, 2011). El xilitol tiene una participación del 12% del mercado total de polioles y se prevé que el crecimiento se triplique.

La empresa líder en la fabricación de xilitol es Dupont Danisco, ubicada en China, Estados Unidos y Finlandia; en segundo lugar, se encuentra Xylitol Canada Inc, posteriormente esta DFI Corp en Estados Unidos, Nova Green Inc en Canadá y Shandong futaste en China. (Diptarka Dasgupta, 2017)

México no participa como productor a nivel nacional e internacional, pero sí, como un consumidor potencial en aumento. Por lo que es importante realizar estudios que determinen la factibilidad técnica para construir plantas comerciales de xilitol en México, partiendo en el entendido de que una de las partes más importante en la implementación de plantas es su localización. Monar (2011) realizó un estudio de factibilidad para la creación

de un centro de capacitación ocupacional de la empresa SEDICOM en Ecuador, en donde aplicó el método de puntos ponderados y el estudio de mercado para la localización óptima de la planta. Así también Corriño (2016) aplicó esta misma metodología para la localización de la presa “Carlazo” en Bolivia, donde se determinó la macro y la micro localización de esta presa.

Partiendo de la disponibilidad de materia prima en el país y además que el Instituto Tecnológico de Veracruz cuenta con la tecnología y el desarrollo experimental sobre el proceso de la producción de xilitol a partir de olote de maíz (Castañón, *et al.*, 2014). Se establece el presente trabajo teniendo como objetivo principal determinar la localización de la primera planta productora de xilitol en México, considerando dos aspectos principalmente: 1) Un estudio de la demanda de xilitol en México y la disponibilidad de la materia prima, 2) La determinación de la macro y micro localización de la planta, todo esto considerando un esquema de desarrollo sostenible es decir, que los residuos generados de la cosecha del maíz y de la planta de producción se utilicen como insumos para generar nuevos productos de alto valor agregado.

2. Desarrollo

Estudio técnico

El presente estudio permite analizar el proceso de producción de xilitol para ver su factibilidad técnica en lo que se refiere a: equipamiento (que comprende identificar los equipos y la maquinaria), las materias primas y las instalaciones necesarias para llevar a cabo de la mejor manera el proceso. El estudio técnico comprende la determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, la ingeniería del proyecto y el análisis organizacional [35].

Proceso de producción

El proceso de producción es el procedimiento que se lleva a cabo en donde los insumos son transformados en productos mediante las ciertas tecnologías. Para generar el diagrama del proceso de producción de xilitol se contó con los datos obtenidos del grupo de trabajo del laboratorio de bioingeniería en el Instituto Tecnológico de Veracruz, donde (Castañón, 2014) (Gastélum, 2007) utilizando como materia prima olote de maíz con el microorganismo *Candida tropicalis IEC5ITV* con las siguientes condiciones de operación: 30° C, 250 rpm y pH 5.0.

Análisis de la demanda

Simón Andrade (2006), define demanda como "La cantidad de bienes o servicios que el comprador o consumidor está dispuesto a adquirir a un precio dado y en un lugar establecido, con cuyo uso pueda satisfacer parcial o totalmente sus necesidades particulares o pueda tener acceso a su utilidad intrínseca".

La demanda también es conocida como el consumo nacional aparente (CNA), que es la cantidad de determinado bien o servicio que el mercado requiere, y se puede expresar con la siguiente fórmula [35]:

$$Demanda = Producción nacional + Importaciones - Exportaciones$$

Para realizar este cálculo se utilizó la base de datos del INEGI, donde se obtuvieron los registros históricos de las importaciones y exportaciones en México a partir del año 2000, donde se comenzó a comercializar el xilitol en México. A partir del empleo del método de Winters (suavización exponencial triple) se pronosticará la demanda de los próximos 10 años.

Análisis de la materia prima:

La materia prima que se ocupa en este proceso es el olote de maíz debido a que se realizó una evaluación de diversos sustratos para la producción de xilitol, y por su contenido de hemicelulosa en dicha evaluación el olote de maíz resultó ser el mejor sustrato para la producción de xilitol, además de ser una materia prima que se produce en México. Una vez determinada la demanda del producto, se necesita conocer la disponibilidad de la materia prima en el país. Por ello se realizó una investigación sobre la producción nacional, importaciones y exportaciones de maíz blanco, mediante la base de datos del Centro de Información de Mercados Agroalimentarios, para determinar la disponibilidad de maíz en anual se formuló la siguiente fórmula.

Disponibilidad de materia prima = producción anual + importaciones anuales – exportación anual

Determinada la cantidad de toneladas de maíz disponible en México, se realiza el cálculo de la disponibilidad de olote de maíz disponible en el país, del cual se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote (CIMMYT, 1995).

Determinación de la Macro y Micro Localización

Para la determinación de la macro localización de la planta, esta se hará de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima que se utilizará para la producción de xilitol, que es el olote de maíz, y se pretende ubicar en el estado que ocupe el primer lugar de la producción nacional de maíz (SADER, 2017). Además, se considerarán otros estudios como el análisis de los diferentes lugares donde es posible ubicar el proyecto, buscando establecer un lugar que ofrece los máximos beneficios, los mejores costos, es decir en donde se obtenga la máxima ganancia, o el mínimo costo unitario (Corrillo, 2016). En este estudio, se toman en cuenta dos aspectos la macro y la micro localización, pero a su vez se deben analizar otros factores, llamados fuerzas locacionales, que de alguna manera influyen en la inversión de un determinado proyecto (Reinaldo, 2004.). Para seleccionar la macro localización del proyecto se consideran los siguientes factores, ubicación de los consumidores o usuarios, localización de la materia prima y demás insumos, vías de comunicación y medios de transporte, infraestructura de servicios públicos, políticas, planes o programas de desarrollo, condiciones climáticas, ambientales, suelos (Reinaldo, 2004.). Seleccionada la macro localización es importante seleccionar la ubicación específica de la planta (es decir la microlocalización), utilizando el método cualitativo por puntos, que consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios, para ello se utilizó la metodología de Urbina (2013) para obtener la micro localización de la planta.

3. Resultados

Proceso de producción:

En el grupo de investigación del Instituto tecnológico de Veracruz, se han registrado diversos estudios acerca de la producción de xilitol mediante el proceso biotecnológico, utilizando la levadura *Candida tropicalis* IEC5ITV, y diversos sustratos, en la Tabla 1 se resumen estos trabajos, así como de otros autores con olote de maíz y se indica las condiciones en las que llevaron a cabo el proceso, así como sus resultados obtenidos.

Referencia	Medio	Modo de operación	YP/S (gg-1)	QP(gL-1h-1)	n(%)
Castelúm, 2007	HBC	L	0.49	0.13	54
		LA	0.56	0.15	61
		L	0.31	0.1	34
Ortega <i>et al.</i> , 2011	HS	L	0.419	-	46
Ping <i>et al.</i> , 2013	HMM concentrado	LA	0.7	0.46	76
Infanzón, 2015	HBSD	LA	0.55	0.091	61
Castañon <i>et al.</i> , 2014	MSHBC	LA	0.57	0.27	62
	HBSD	L	0.12	0.04	13

Tabla 1. Resultados obtenidos para la producción de xilitol.

La Tabla 1, muestra la comparación entre modo de fermentación, tipo de medio, rendimientos y productividades de xilitol y rendimiento de xilitol respecto al teórico. Se observa que los resultados obtenidos en medio HMM concentrado en lote alimentado fueron mayores con respecto a otros medios de operación obteniendo un rendimiento de 0.70 gg-1, utilizando olote de maíz.

Proceso de producción de xilitol:

Actualmente en el laboratorio de bioingeniería en el Instituto tecnológico de Veracruz desarrolla un proceso que abarca la entrada de la materia prima hasta la obtención de los cristales de xilitol, como se muestra en la Figura 1.

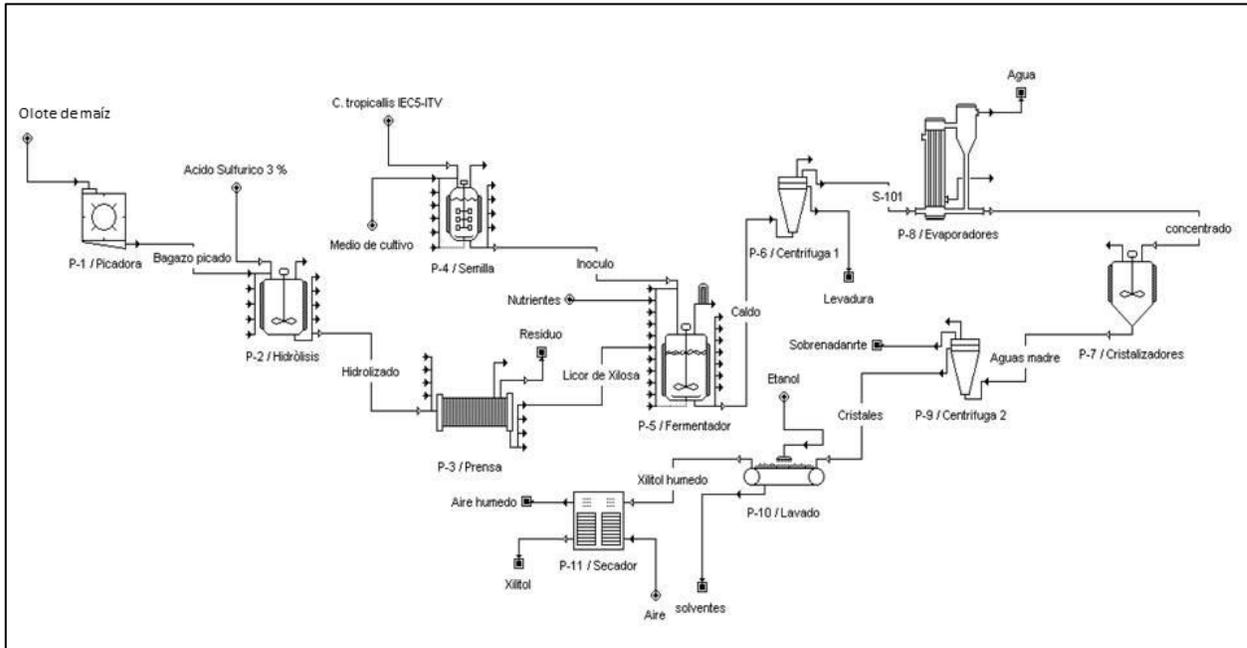


Figura 1. Proceso de obtención de xilitol a partir de olote de maíz en la Planta Piloto.

El proceso comienza con la entrada de materia prima para dirigirse a picadura, donde el olote de maíz es seccionado en trozos pequeños para posteriormente pasar a la hidrólisis ácida donde se liberan los azúcares que están contenidos en la hemicelulosa del olote, una vez realizada la hidrólisis, el hidrolizado pasa a la prensa y el residuo olote de maíz sale del proceso; el licor de xilosa obtenido pasa a la fermentación donde se agregan nutrientes y la semilla de inóculo (es la adaptación del microorganismo utilizado y el medio de cultivo), en la fermentación se transforma el licor de xilosa mediante el microorganismo *Candida tropicalis* IEC5ITV, para obtener el caldo de xilosa, que pasa a la centrifugación donde se realiza la separación del caldo de xilosa con la levadura, para dar paso a la evaporación, eliminando la mayor cantidad de líquido presente en el caldo de xilitol, obteniendo el concentrado de xilitol, la siguiente parte del proceso es la cristalización donde el concentrado de xilitol es transformado en aguas madre, cuyo contenido es mayoritariamente de cristales de xilitol, posteriormente pasa nuevamente a la centrifuga para realizar la separación de las aguas madres, retirando el sobrenadante y obteniendo los cristales de xilitol, por último se elimina cualquier tipo de impureza en los cristales mediante el uso de etanol, realizando el lavado se obtiene xilitol húmedo, que pasa a la etapa de secado con aire para posteriormente ser envasado.

Análisis de la demanda

El Análisis de la demanda consiste en determinar y medir cuales son los factores que afectan los requerimientos de mercado con respecto un bien o servicio, además busca conocer la factibilidad del producto para satisfacer la demanda, realizada la investigación sobre los datos históricos del consumo de xilitol, los cuales arrojaron que México no participa como productor ni como exportador de xilitol, participa en el mercado como importador, datos que se tomaron como la demanda de xilitol, puesto que en México solo se consume xilitol de importación.

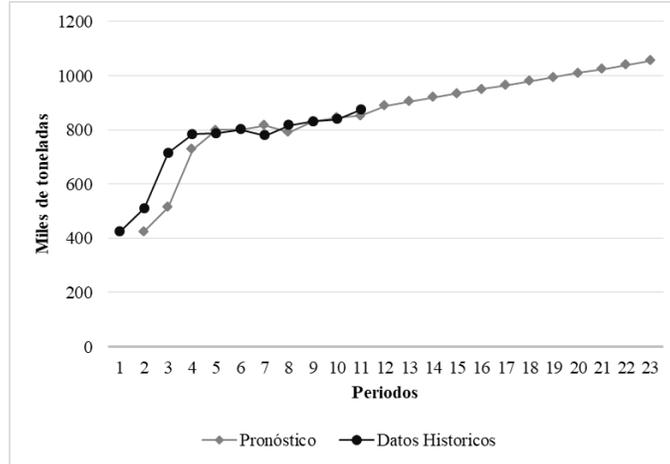


Figura 2: Datos históricos de la demanda

La Figura 2 muestra el comportamiento de la demanda de los años 2008 a 2018(periodo 1-11), donde se puede observar que no se cuenta con una tendencia lineal, ya que en los primeros años 2008 – 2014 (periodos 1-7), se observa el crecimiento irregular de la demanda ya que en esos años comenzaba a tomar auge el xilitol en México y comenzó a incrementar, para que en los años 2011-2013 (periodos 4-6) , se mantuviera un consumo de aproximadamente 800 toneladas, en el año 2014 decreció el consumo por debajo de las 800 toneladas, pero para los años 2015-2018(periodos 8-11) incremento la demanda ya que la cantidad de toneladas importadas se situó por arriba de las 800 toneladas durante 3 años consecutivos. Por lo que se llevó a cabo un pronóstico mediante el método de Winters, donde se observó el crecimiento de la demanda de los años 2019 a 2030 (periodos 12- 23), donde se muestra un crecimiento lineal pero no acelerado, ya que en el año 2019 se pronostica una demanda de 889.96 toneladas, así como para el 2030 una demanda de 1055.24 toneladas, siendo así el crecimiento de 165.28 el crecimiento de la demanda pronosticado mediante el método Winters.

La CONADESUCA reporta que el consumo de productos no calóricos ha crecido a una tasa anual promedio de 10.7%, ya que el consumo de JMAF y otros productos como los no calóricos se han incrementado en los últimos años a una tasa mayor que el consumo de azúcar, logrando consolidarse en más de un cuarto del mercado de edulcorantes en México, con estos datos y la proyección el mercado de los edulcorantes no calóricos van creciendo exponencialmente , por lo que la producción de xilitol en México va a la alza y resulta factible la puesta en marcha de una planta productora de xilitol.

Análisis Materia prima:

Por otro lado, se realizó la formula menciona anteriormente en la cual se determinó la disponibilidad de maíz blanco en México en un periodo comprendido de 2009 -2018, como se muestra en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2. Disponibilidad de maíz blanco en México de 2009- 2018

Maíz blanco disponible para la obtención de olote (millones de toneladas)									
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
20.913	16.959	21.418	22.595	21.044	21.323	24.094	23.991	23.714	24.516

Una vez determinada la disponibilidad de maíz blanco se obtuvo la cantidad de olote de maíz disponible, donde se obtuvieron los siguientes datos históricos de la producción de olote de maíz en los últimos 4 años, en donde se observó que la producción de olote se encuentra por encima de los 4 millones de toneladas anualmente (como se muestra en Figura 3).

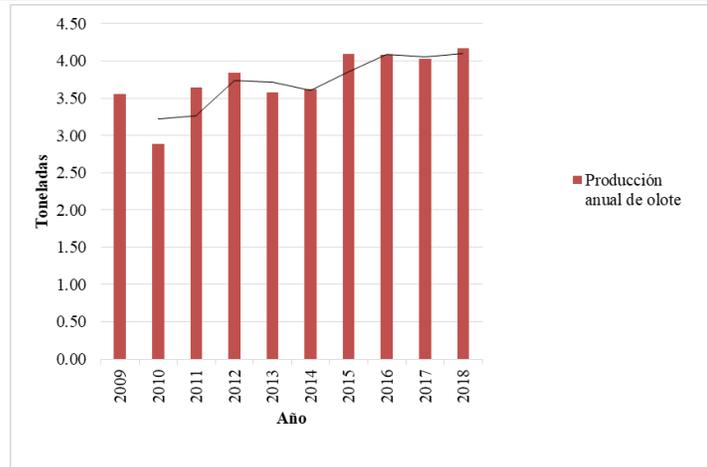


Figura 3: Toneladas de olote de maíz (datos históricos)

Considerando la obtención de olote del último año registrado (2018) en la Figura 4, podemos hacer una proyección o cálculo de la cantidad de xilitol que se puede producir, si se utilizará toda la disponibilidad de olote en México, el rendimiento de xilitol obtenido por (Castañón *et al*, 2014) y la composición lignocelulósica que tiene el olote de maíz (Córdoba, 2013). Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Balance general de producción de xilitol a partir de olote de maíz

balance de materia				
toneladas de olote	Hemicelulos	Xilosa	Rendimiento	total de xilitol
a	33.60%	60%	57%	
4,167,720.00	1,400,353.92	840,212.3	478,921.04	toneladas de xilitol
		5		

Por lo que considerando la demanda del año 2018 que asciende 874 toneladas de xilitol, se cuenta con la suficiente materia prima para producir xilitol de olote de maíz, para satisfacer la demanda nacional y con posibilidad de producir xilitol para exportar, ya que la demanda equivale al 0.2% de lo que se podría producir de xilitol si se considerara toda la producción en México. Por lo que solo considerando un 5% de la producción de olote se estarían generando alrededor de 23 946 toneladas de xilitol, con esto se cubriría la demanda nacional y quedaría para exportarlo.

Determinación de la ubicación óptima de la planta:

Para la ubicación de la macro localización de la planta de xilitol en México, se consideró como factor clave la producción de material nacional, según las cifras reportadas de CIMA (2019) se obtuvieron los siguientes porcentajes de producción por estado: Sinaloa (22%), Jalisco (14%), México (8%), Michoacán (7%), Guanajuato (6%), Guerrero (5%), Veracruz (5%), Chiapas (5%), Chihuahua (4%), Puebla (4%) y el resto de los estados representan el (20%) . Siendo Sinaloa el Estado con mayor producción de maíz teniendo el 11.17 millones de toneladas de maíz. Por lo que la mejor opción de locación macro es ponerla en el estado de Sinaloa.

Establecida la macro localización, se da paso a seleccionar la micro localización donde se establecieron los factores predominantes, los cuales fueron: Conflictos en centros de trabajo (huelgas), Seguridad en la región (número de conflictos), Pobreza en la región (cantidad de personas que se encuentran en pobreza), Cantidad de personas con empleo, Red carretera (km construido), Disponibilidad de materia prima (toneladas), costo de hectárea de terrenos. Se seleccionaron las ciudades a evaluar, las cuales fueron seleccionadas mediante el criterio de producción de materia prima, las ciudades seleccionadas fueron: Los Mochis, Culiacán, Guasave, La Cruz y Guamúchil, todas ellas situadas en el estado de Sinaloa. Se asignó un peso a cada factor, los cuales fueron los siguientes; Conflictos en centros de trabajo (0.05), Seguridad en la región (0.10), Pobreza en la región

(0.10), Cantidad de personas con empleo (0.15), Red carretera (0.15), Disponibilidad de materia prima (0.30), costo de hectárea de terrenos (0.15). Se asignó una escala del 0-10 para calificar los factores en cada ciudad y se realizó la calificación por ciudad, para cada factor se obtuvo información mediante la búsqueda de datos en el anuario estadístico del estado de Sinaloa, los cuales se muestran en la Tabla 4, para después continuar con la asignación de calificación a cada ciudad, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4. Evaluación de cada factor por ciudad

Factor	Culiacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis
Conflictos en centros de trabajo./huelgas	48	3	8	2	18
Seguridad en la región, numero de conflictos	7,411	388	1,356	189	2,715
Pobreza en la región (cantidad de personas que se encuentran en pobreza)	178,916	5,803	135,087	19,943	178,916
Cantidad de personas con empleo	366,171	29,804	101,770	23,070	190,982
Red carretera(km construidos)	2,593	360	1,317	681	2,938
Disponibilidad de materia prima (toneladas)	1,564,712	621,424	1,253,675	607,045	1,574,645
Costo de los terrenos	\$ 170,000.00	\$ 120,000.00	\$ 175,000.00	\$ 150,000.00	\$ 110,000.00

Tabla 5. Calificación de factores

Factor	Peso	Calificación					Calificación				
		Culiacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis	Culiacán	Guamúchil	Guasave	La Cruz	Los Mochis
conflictos	0.05	1.00	6.00	4.00	8.00	2.00	0.05	0.30	0.20	0.40	0.10
Seguridad en la región	0.10	2.00	7.00	5.00	9.00	4.00	0.20	0.70	0.50	0.90	0.40
Pobreza	0.10	8.00	2.00	7.00	4.00	6.00	0.80	0.20	0.70	0.40	0.60
personas con empleo	0.15	4.00	8.00	7.00	9.00	5.00	0.60	1.20	1.05	1.35	0.75
Red carretera	0.15	9.00	2.00	7.00	5.00	8.00	1.35	0.30	1.05	0.75	1.20
Materia prima	0.30	9.00	7.00	8.00	6.00	10.00	2.70	2.10	2.40	1.80	3.00
Terrenos	0.15	6.00	8.00	5.00	7.00	9.00	0.90	1.20	0.75	1.05	1.35
Total	1						6.6	6	6.65	6.65	7.4

Elaborada la calificación de factores se determinó que la ciudad de Los Mochis Sinaloa es la idónea para implementar la primera planta de xilitol en México, ya que cuenta con un mayor peso por la cantidad de materia prima producida.

4. Conclusiones

Considerando la cantidad de que se puede producir de xilitol con toda la producción de olote a nivel nacional es satisfactoria, como ya se tiene una localización de la planta se obtiene que con solo la producción de olote de maíz en Sinaloa se puede cubrir la demanda ya que se podrán producir 109,552.50 toneladas de xilitol.

La implementación de la planta de xilitol representaría un avance tecnológico para el país, así como la generación de empleos en la región y un uso al olote de maíz que ya no será incinerado, lo que provoca altos índices de contaminación. Además, con la producción de xilitol en México este producto se convertirá en un

producto de dominio público, volviéndose parte de la dieta de los mexicanos siendo un edulcorante con diversas propiedades para la salud.

El siguiente paso de este proyecto es llevar a cabo un análisis económico en donde se demuestre la factibilidad económica y financiera de la implementación de la primera planta productora de xilitol a partir de olote de maíz en México.

5. Referencias

- Baca, U. G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: Mc GrawHill.
- Castañón Rodríguez F. Domínguez González, J. M., Ortíz Muñíz, B., Torrestiana- Sánchez, B., Ramírez de León, J. A., Aguilar Uscanga, M.G. (2014). Continuous multistep versus fed-batch production of ethanol and xylitol in a simulated medium of sugarcane bagasse hydrolyzates. *Engineering.Life Science.*, 1–12.
- Castañón,(2014). *Producción secuencial de xilitol y etanol a partir de hidrolizado de bagazo de caña utilizando levaduras autóctonas*. Veracruz, México.: Tesis de Doctorado en Ciencias Alimentos. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Chandel, A. D. Da Silva, S.S., Carvalho, W., Singh, O.V. (2011). Sugarcane bagasse and leaves: Foesseable biomass of biofuel and bio-products. . *Journal Chemistry Technology Biotechnology.*, 87: 11-20.
- CIMMYT. (1995). Manejo de los ensayos e informes de los datos para el Programa de Ensayos internacionales del maíz. ISBN: 970-648-045-5 , 20.
- Córdoba, J. A. Salcedo B.E, Rodríguez R, Zamora J. F. , Manríquez B R, Contreras H, Robledo J, Delgado E (2013). CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN QUÍMICA DEL OLOTE:DEGRADACIÓN HIDROTÉRMICA BAJO CONDICIONES. *Rev. Latinoamer. Quím.*
- Corrillo, M. F. (2016). ESTUDIO DE LOCALIZACION DE UN PROYECTO. *Ventana Científica Vol. 7. N° 11*, Pág. 29 – 33.
- Cubero, N. A. (2002). Grupo Mundi-Prensa. *Edulcorantes. En Aditivos Alimentarios* , (págs. 189-210).
- Dean, W. (2002). Xylitol – Sweetener may support bone health. *Vitamin Research*.
- Diptarka Dasgupta, S. B. (2017). Challenges and prospects of xylitol production with whole cell bio-catalysis: A review. *Elsevier GmbH*.
- Gastélum, M. E. (2007). “*PRODUCCIÓN DE XILITOL POR LA LEVADURA IEC5 -ITV A PARTIR DE HIDROLIZADO DE BAGAZO DE CAÑA EN CULTIVO*”. Veracruz,México: Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos.
- Infanzòn Rodriguez, M. I. (2015). *PRODUCCIÓN DE XILITOL EN CULTIVO POR LOTE ALIMENTADO A PARTIR DE HIDROLIZADO DE BAGAZO DE SORGO DULCE (Sorghum bicolor (L.) Moench) CON Candida tropicalis IEC5-ITV*”. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Isokangas, P. S. Söderling, E., Pienihäkkinen, K. y Alanen, P. (2000). Occurrence of consumption of xylitol chewing gum a follow-up 0- 5 years age . *Journal of Dentist Research.* , 79-11; 1885-1889.
- Jerouchalmi, I. (2003). *Manual Para la Preparación de Proyectos de Inversión y Evaluación.*, Montevideo: Grafica IG.
- Jiménez, M. R. (2012). *Aspectos bromatológicos y toxicológicos de los edulcorantes*. España : Diaz Santos .
- Larosa. (1998). *alcoholes azucares. zoetecnocampo*.
- Monar , Luna Gabriela F. (2011) factibilidad para la creación de una centro de capacitación ocupacional de la empresa SEDICOM en Ecuador. Escuela Superior de Chimborazo, Tesis para obtener el título de master comercial.
- Moldes, A. B. (2002). . Production of a cellulosic sub-strate susceptible to enzymatic hydrolysis from prehidrolized barley husks. *Agr. Food Sci. Finland .* , 11(1): 51-58.
- Mussatto, S. Silva, S.S., Chandel, A.K., : (2012). Application of xylitol in food formulations and benefits for health. In d-Xylitol; . *Berlin and Heidelberg Springer*, 309–323.
- Parajó, J. C., Domínguez, H., Domínguez, J. M. (1998). Biotechnological production of xylitol. Part 1: Interest of xylitol and Fundamentals of its biosynthesis. *Bioresource Technology*, 65: 191-201.
- Rafiqul, I. S., Sakinah Mimi (2013.). Process for the production of xylitol; . *A review. Food Reviews International.* , 29: 127-156.
- Reinaldo, S. C. (2004.). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. México: Mc Granw- Hill.
- Uhari, M. K., Kontiokari, T.,Niemi, M. (2007). A novel use of xylitol sugar in preventing acute otitis media. . *Pediatrics.* , 102; 879-884.

Zumbe, A. A., Lee, A., Storey, D (2001). Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery British. *Journal of Nutritio*, n. 85: 31-45.

6. Notas Biográficas

El **Ing. Mónica Paulina Lozano Rodríguez** Este autor es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **III. Margarito Landa Zárate** es coordinador de estudios de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Tiene estudios de postgrado en Ingeniería Industrial por el Tecnológico de Puebla, Puebla, México.

La **Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga** es PI. del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería. Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción Bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

7. Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca de la C. Mónica Paulina Lozano Rodríguez para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial. Así también a la Maestra en Ciencias Patricia G. Hayward Jones por su apoyo en la revisión del resumen en ingles.

Caracterización geográfica de la zona de Jicaltepec, Veracruz para desarrollo de proyecto ecoturístico utilizando un Sistema de Información Geográfica

Rafaél Octavio López Marcos, Ingeniero Civil¹, Dr. David Reyes González²

Rafaél Octavio López Marcos, Ingeniero Civil, es de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: 182T0773@itsm.edu.mx

² El Dr. David Reyes González, es profesor Investigador del área de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: dyaeresgtsm.edu.mx

Resumen— Este trabajo presenta el estudio y análisis de la localidad de Jicaltepec, Municipio de Nautla, Veracruz para evaluar sus atributos potenciales para el desarrollo de un proyecto ecoturístico, utilizando un Sistema de Información Geográfica, SIG, para la georreferenciación de la localidad, en donde, se caracterizan sus principales rasgos geomorfológicos, hidrológicos y climatológicos, así como la proyección topográfica de la zona, donde los recursos técnicos, recolección y digitalización de información, se utilizan para su conversión magnética en formatos de archivos, la construcción de topologías de la planimetría de la localidad, la tabulación de información atributiva, y la construcción de los mapas digitales, que permitan la posterior localización e identificación de los recursos turísticos, dentro de un sistema de bases de datos georreferenciadas.

Para el desarrollo de este trabajo se hace una selección por análisis de los parámetros a seleccionar como variables de interés en el estudio, se colecta la información relacionada a los parámetros y se utiliza el software QGIS, una herramienta de análisis de código abierto, que permite la representación digital dentro de la información del SIG desarrolladas a nivel municipal y dentro de la planimetría sectorizada de la localidad. Dicho estudio servirá de base para el proceso de evaluación e intervención de la localidad antes mencionada.

Palabra(s) clave— Sistemas de Información Geográfica, Turismo, Desarrollo Integral Sustentable

Abstract— This work shows the study and analysis of the potential attributes from Jicaltepec town, in Nautla, Veracruz, evaluated for tourist development, using a Geographic Information System, GIS, to location georeferenced, characterizing mean geomorphological, hydrological and climatological attributes and the topographic projection of the area, using the technical resources, collection and digitalization of information, to convert in magnetic formats, to build topologies of location planimetry, information tabulation, and building of digital maps, in line to identify and locate of tourist resources, in a georeferenced data system.

To develop this, work a classification by analysis of parameters is done, to choose the mean variables of study subject, then a set of information related to parameters is treated. QGIS software is used, it is an open code analysis tool, this let digital representation of the GIS information developed in a municipal level, and the sectorized planimetry of the location. This study shall be a basis to evaluate process and intervention of the location.

Key words – Geographic Information Systems, Tourism, Sustainable Integral Development

1. Introducción

En los últimos años, el fenómeno turístico en algunas regiones ha incrementado considerablemente, principalmente en zonas rurales y está dirigido a segmentos de demanda muy específicos y definidos, tales como habitantes de otros ecosistemas, y personas de distinto nivel socioeconómico. Por lo anterior, cada vez más localidades han buscado aprovechar los recursos y bienes con los que cuentan, para impulsar el crecimiento económico local, mediante el desarrollo turístico; esto ha propiciado que de igual forma existan nuevos desarrollos de complejos inmobiliarios e industriales enfocados al servicio turístico. Sin embargo, es necesario contar con la valuación de terrenos para la elaboración y construcción de proyectos industriales, esto parte de la necesidad de contar con un estudio preciso en el cual se plasma una cantidad importante de información como son: el valor del terreno, el uso del suelo, la factibilidad económica y social, entre otras.

Estos desarrollos regularmente se complican ya que no existen terrenos con uso de suelo adecuado, y que cuenten con una infraestructura urbana y de comunicaciones que permitan un mayor aprovechamiento de esta y su facilidad de acceso con la población circundante.

Un aspecto primordial de la investigación es el análisis de la implementación de las políticas ambientales en México y los elementos que sustentan su aplicación en la determinación de una proyección de desarrollo gradual, considerando los principales recursos existentes del ecosistema de la región.

En la actualidad hay destinos que, de acuerdo con sus características naturales y culturales, están orientando sus espacios hacia el ecoturismo, el turismo de aventura y el turismo rural, entre otros, que contribuyen al desarrollo sustentable (Ascanio Guevara, A., & Campos, V., 2009).

La actividad turística bien gestionada puede ser un detonador para el desarrollo de un país (Martínez Tarragó, T., 2001). El sector de turismo tiene como finalidad el desarrollo creciente de este, así como muchas áreas de oportunidad que tienen para consolidar y que sea un pilar que sostenga las actividades económicas de la región, por otro lado, la cultura que posee no tiene el aprovechamiento adecuado y esto genera que no sea un detonante de desarrollo. Con base a esto se deben generar estrategias para el impulso del turismo en la región, tales como el mejoramiento de la infraestructura turística, donde se deberán ejecutar proyectos de obra para generar construcciones en beneficio de la región, así como la creación de rutas turísticas para que sean atractivas al público que visita con frecuencia el municipio, otro punto es la capacitación y apoyo a los habitantes de la comunidad, para que puedan ofertar productos que activen los servicios turísticos, donde los proveedores sean los habitantes de las comunidades.

En los últimos años, la población de Jicaltepec ha mostrado interés en generar un proyecto de desarrollo ecoturístico, que aproveche su potencial histórico, cultural, geográfico y urbano; a pesar de tener la organización comunal para la realización de las gestiones ante instancias gubernamentales y particulares, carecen de una estrategia que permita establecer un procedimiento basado en la priorización de recursos disponibles para generar un proyecto de desarrollo ecoturístico racional.

El objetivo de este trabajo consiste en generar un estudio a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) de los atributos característicos de la localidad de Jicaltepec, que permitan apoyar en la toma de decisiones, para formular propuestas de acciones estratégicas en el desarrollo de actividades turísticas en el Corredor de la Localidad de Jicaltepec, perteneciente al municipio de Nautla, Ver. Mediante la recolección de datos se llega al objetivo primordial donde se evalúa las características geográficas y climatológicas de la localidad, mediante un SIG como sistema de soporte donde sea factible a la toma de decisiones en la generación de ofertas ecoturísticas en la comunidad. Se aplica una hipótesis donde se incluya las características de los recursos naturales, culturales y de obra pública mediante el SIG, donde este contribuye como soporte en la toma de decisiones para la evaluación de ofertas de ecoturismo sustentable.

Para constatar el papel que pueden jugar los SIG en estudios vinculados con la historia, a continuación, vamos a hacer referencia a algunas investigaciones en las que se ha hecho uso de ellos. En primer lugar, el estudio que bajo el nombre El uso de los SIG como herramienta de modelización geográfica en arqueología. El caso de estudio del poblamiento durante la prehistoria reciente en la cuenca del río Ripoll (Yubero Gómez, 2011), tuvo como objetivo analizar los patrones de poblamiento durante la prehistoria reciente (5500-550 a.C.) en la cuenca del río Ripoll (Vallès Occidental/Vallès Oriental, Catalunya). En las V Jornadas de SIG Libre los autores de este proyecto presentaron una aproximación a la metodología utilizada. Para poder estudiar los patrones de poblamiento crearon un modelo geográfico que permite dar respuesta a las preguntas planteadas durante la investigación y que emplea de manera intensiva las utilidades y ventajas que las aplicaciones SIG pueden aportar. Así, se creó una base de datos espacial para poder realizar un análisis espacial de los yacimientos y proceder con el SIG a la comparación de estos con distintos valores: altura, gradiente, aspecto y distancia del río Ripoll. La aplicación de esta metodología permite a sus autores concluir que existen modelos distintos de asentamientos en la cuenca estudiada. En segundo lugar, podemos hacer referencia a un trabajo de geografía urbana que conlleva un importante componente histórico y que aborda el desarrollo de una gran ciudad europea después de la Segunda Guerra Mundial y hasta el fin del siglo XX. Se trata de la tesis doctoral de Nicolas Ferrand que – bajo el nombre Approche morphologique de l'urbanisation, Lyon et son Agglomération de 1945 à 2005. Données, outils et méthodes – recrea la evolución urbana de Lyon mediante las transformaciones en las ocupaciones del suelo (Ferrand, 2010). Otro ejemplo es el de la tesis del italiano Massimiliano Grava: Fonti cartografiche di Toscana e Catalogna di Età Moderna e Contemporanea. Ricostruire con il GIS, comunicare con Web GIS, en la que haciendo uso de los SIG y de bases cartográficas históricas se analiza la evolución de la estructura de la propiedad durante la edad moderna, su proceso de agregación y dispersión a lo largo de los años, y el cambio de distancia en relación al centro urbano (Grava, M., 2011).

Los alcances de la investigación son: la identificación de las actividades turísticas de la localidad, identificación y evaluación de las características de los recursos naturales, y culturales. Así como proponer y analizar los riesgos ambientales para evitar daños en él. Las limitaciones con las que se encontraron fueron: la falta de apoyo por parte del gobierno municipal, donde el desarrollo turístico dejó de ser un factor prioritario para ellos, una limitación más es el desempeño con el software.

2. Desarrollo

Metodología.

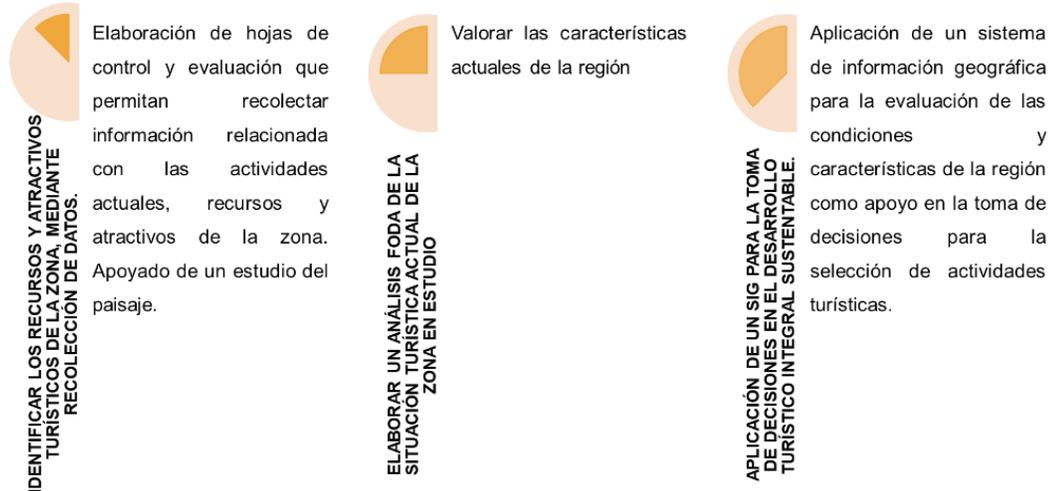


Figura 1: Metodología utilizada para la investigación

La localidad de Jicaltepec está situada en el Municipio de Nautla (en el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave). Hay 852 habitantes. Jicaltepec está a 19 metros de altitud. En la localidad hay 416 hombres y 436 mujeres. La ratio mujeres/hombres es de 1,048, y el índice de fecundidad es de 2,12 hijos por mujer. Del total de la población, el 6,46% proviene de fuera del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. El 3,87% de la población es analfabeta (el 3,12% de los hombres y el 4,59% de las mujeres). El grado de escolaridad es del 7.90 (7.71 en hombres y 8.07 en mujeres). El 0,82% de la población es indígena, y el 0,23% de los habitantes habla una lengua indígena. El 0,00% de la población habla una lengua indígena y no habla español. El 36,50% de la población mayor de 12 años está ocupada laboralmente (el 57,21% de los hombres y el 16,74% de las mujeres). En Jicaltepec hay 306 viviendas. De ellas, el 98,03% cuentan con electricidad, el 64,17% tienen agua entubada, el 99,21% tiene excusado o sanitario, el 67,32% radio, el 95,67% televisión, el 84,65% refrigerador, el 70,08% lavadora, el 25,59% automóvil, el 9,45% una computadora personal, el 48,03% teléfono fijo, el 53,54% teléfono celular, y el 1,57% Internet. (INEGI. Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades).

Elaboración de Análisis FODA de la situación turística actual de la zona de estudio

El análisis (Tabla 1) de aquellos factores que favorecen el proceso de desarrollo, y aquellos otros que constituyen interferencia o restricciones que pueden transformarse en obstáculos infranqueables o ser simples estados coyunturales. Surgen así situaciones estructurales positivas (Fortalezas), o negativas (Debilidades), cuyos efectos deben atenuar, y también las situaciones coyunturales (amenazas, problemas y oportunidades), que irán condicionando la estrategia de desarrollo.

Cabe mencionar, que las fortalezas y debilidades son elementos internos por lo que tanto se puede intervenir mejorando la economía, la conservación del medio ambiente y cultura impulsar la actividad turística, mientras que las oportunidades y amenazas son elementos externos que no se puede detener o frenar para evitar el impacto negativo en el Municipio de Jicaltepec, Ver. y en el desarrollo de la actividad turística.

<p>Fortalezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buena ubicación geográfica, buena accesibilidad terrestre. (rutas y transporte) • Posee diversidad, con base en la actividad turística. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tenencia del mercado al turismo activo, rural, de salud, bienestar, belleza y gastronómico. • Potencialidad del municipio. • La promoción y publicidad de la zona con potencial natural y turístico • Destino original dentro de la oferta próxima con una alta calidad de servicios turísticos. • Se presenta como un destino seguro.
<p>Debilidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comienza a ser un problema la falta de promoción turística del municipio. • Poca disponibilidad de las personas de la comunidad. 	<p>Amenazas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones • Desastres naturales • Deserción de puntos turísticos

Tabla 1.- Análisis FODA

Para el Plan de Desarrollo Integral Turístico de la localidad de Jicaltepec, se elabora un Sistema de Almacenamiento Digital, con la finalidad de archivar información de recursos y atractivos con potencial turístico, que sean administrados y procesados, con el objetivo de obtener los insumos necesarios para la toma de decisiones, al momento de realizar las actuaciones o intervenciones, que se requieran el área en estudio. Se realiza el diseño y montaje del sistema, que permite elaborar:

- o Tablas para guardar los datos.
- o Consultas para buscar y recuperar los datos que se necesitan.
- o Formularios para ver, agregar y actualizar los datos de las tablas.
- o Informes para analizar o imprimir los datos con un diseño específico.

RECURSO	CATEGORIA	SUBCATEGORIA
Territorial	Geográfico	Físico Político
Recursos Naturales	Abióticos	Clima Hídricos Fenómenos Meteorológicos Llanuras Geomorfología
	Bióticos	Flora Fauna
Recursos Culturales	Tangibles	Centros Urbanos de interés turístico Artísticos Monumentos Arqueológicos
	Intangibles	Acontecimientos Programados Manifestaciones Populares Manifestaciones Artísticas
Facilidades Turísticas	Equipamiento Turismo	Alojamiento
	Equipamiento Complementario	Alimentación y bebidas Servicios al turista Servicios bancarios
Accesibilidad y Transporte	Medio Terrestre	Servicio de transporte terrestre Terminal Terrestre de Pasajeros Rutas Terrestres
	Medio Acuático	Rutas acuáticas Servicio de transporte acuático Terminal Lacustre

Tabla 2.- Estructura de datos del SIG

El uso de la tecnología de la SIG, ofrece a la planificación del turismo grandes ventajas en el procesamiento y documentación de información (Caldera de Ugarte, N., & Reyes, M., 1999). Además, permite exportar las bases de datos, como archivos compatibles con el programa GIS v.3.3, de QGis, herramienta computacional con capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información geo-referenciada, que

permita la preparación del SIG. Las variables analizadas para la sistematización de la información gráfica y tabular se presentan en la Tabla 2.

Para cada una de estas variables se elabora un archivo de almacenamiento de datos, el formulario de vaciado, edición y consulta, así como el informe para la presentación de la información. Las bases de datos se estructuran, de manera que puedan exportarse a dBASE IV (*.dbf), formato compatible con QGis, y así al espacializar y georreferenciar la información gráfica, permita conectar las bases de datos alfanuméricas con los mapas y planos (archivos vectoriales) de la localidad.

3. Resultados

El proyecto consiste, como se ha mencionado anteriormente, en el desarrollo y suministro de un sistema de información geo-referenciado de la localidad de Jicaltepec, Ver, en el cual se caracterizan sus principales rasgos geomorfológicos, ambientales y recursos turísticos, así como la planimetría digital sectorizada de sus principales centros poblados, para la implementar una herramienta de análisis espacial automatizada. Dicho sistema sirve de base para el proceso de evaluación e intervención de la localidad de Jicaltepec. Para el cumplimiento de esta etapa del servicio, se dispone de recursos técnicos y personal de la localidad, para la búsqueda, recolección y digitalización de información, la construcción de topologías de la planimetría de la localidad de Jicaltepec y sus principales poblaciones, la tabulación de información atributiva, y la construcción de los mapas digitales del municipio y sus centros poblados, todo ello para permitir la posterior localización e identificación de los recursos turísticos, dentro de un sistema de bases de datos georreferenciadas. El SIG se organiza en procedimientos, y que permiten la estructuración del producto final:

1. *Documentación: este proceso alimenta el SIG con información gráfica y atributiva:*

- Recolección: localiza e identifica el sitio, revisa planimetría y bibliográfica.
- Sistematización: organiza la información de acuerdo con la clasificación de los recursos.
- Transcripción: digitaliza la información.
- Georreferenciación: localiza los servicios urbanos y sitios con potencial turístico.

2. *Análisis: uso de las capacidades del SIG para el cálculo de relaciones entre variables:*

- Concentración: aplica el análisis estadístico para el conteo de unidades por área urbana o por municipio.
- Proximidad: usa buffers para calcular áreas de influencia desde sitios puntuales, lineales o poligonales.
- Accesibilidad: uso del análisis de redes para determinar la mejor ruta o la más interesante.

3. *Resultados: búsqueda de la delimitación y calificación del potencial turístico del sitio.*

- Productos finales directos
- Mapas temáticos por tema o cobertura y para impresión.
- Reportes de bases de datos, por criterios de búsqueda o por inventario de recursos.
- Subproductos indirectos:
- Mapas digitales para ser utilizados en otras aplicaciones o documentos.
- Tablas de bases de datos, con posibilidad de ser utilizadas en otros sistemas externos.

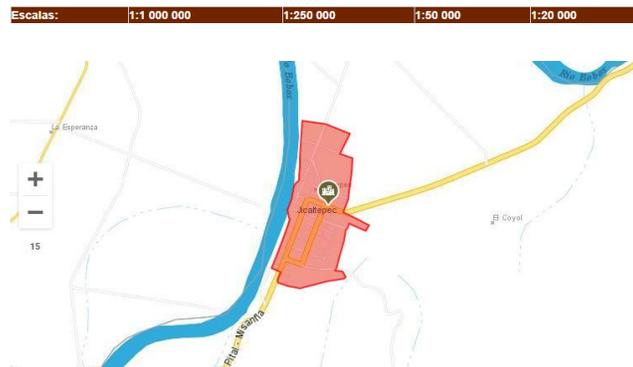


Figura 2: Proyección Topográfica de la Localidad de Jicaltepec, Ver.

La preparación de la información base se realiza a partir de planos digitalizados de software QGis, (Figura 2) los cuales se han comprobado con cartas geográficas de cartografía nacional. Con la revisión se busca corregir cualquier incongruencia que se pueda presentar en los planos. Luego de completar las correcciones se procede a digitalizar la información geomorfológica de la localidad, incluyendo la estructura hidrográfica (Figura 3),

ríos, cursos de aguas, embalses y lagunas, y paralelamente se realizó la conversión de los archivos CAD a archivos QGis.

En este caso los diferentes climas (Figura 4) predominantes en la localidad de Jicaltepec, Ver. son los cálidos, Templado Húmedo y Subhúmedo, los cuales son condicionados por la diferencia de altitud que oscilan entre los 1,130 a 4,558 msnm (Rodríguez, 2011). Por otro lado, de acuerdo con información de publicado por la CONABIO, (2001) se muestra una clasificación de climas, así como de Uso de suelo y Vegetación (Figura 5) de la localidad de Jicaltepec en el Estado de Veracruz de acuerdo con la clasificación de Köppen (Tabla 3).



Figura 3: Proyección Hidrográfica de la Localidad de Jicaltepec, Ver.

CLASIFICACIÓN	SUPERFICIE
CÁLIDO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO – A (W)	10.32%
SEMICALDO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO – AC (W)	10.36%
TEMPLADO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO – C (W)	61.82%
SEMIFRÍO HÚMEDO CON ABUNDANTES LLUVIAS EN VERANO – C (E) (M)	0.67%
SEMIFRÍO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO – C (E) (W)	10.90%
SEMISECO TEMPLADO – BS1K	5.77%
FRÍO – E (T)	0.16%

Tabla 3.- Tipo de clima y porcentaje de superficie de la localidad de Jicaltepec

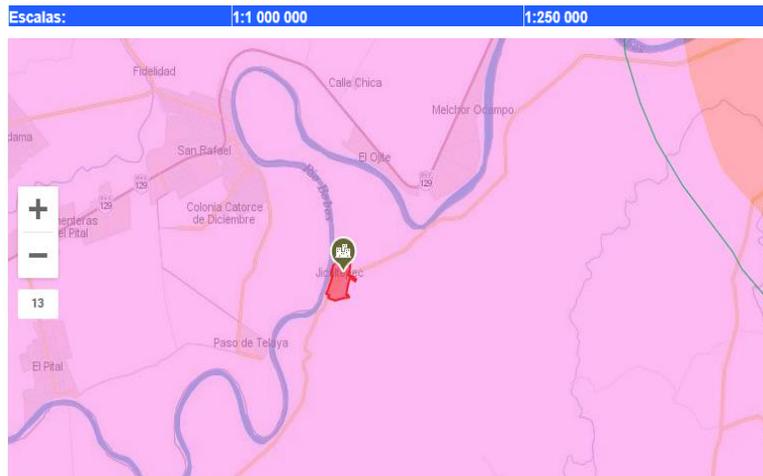


Figura 4: Proyección Climatológica de la Localidad de Jicaltepec, Ver.

Los resultados obtenidos contribuyen a la caracterización de los atributos geográficos y urbanos, principalmente (tabla 3), que contribuyan con la toma de decisiones en el desarrollo ecoturístico pretendido por

la organización comunal de localidad de Jicaltepec, generando propuestas de trabajo y seguimiento planificado, para la obtención de recurso económico de instancias gubernamentales o privadas disponibles.



Figura 5: Proyección de Uso de Suelo y Vegetación de la Localidad de Jicaltepec, Ver.

4. Conclusiones

Cabe señalar que es posible impulsar la actividad turística, como una tarea que se debe asumir a partir de las propias atribuciones de las autoridades locales, quienes tienen un impacto directo en el éxito o fracaso del lugar como destino turístico. Se debe reconocer que es necesario potenciar más la planificación del turismo a nivel local, ya que muchas veces por condiciones relacionadas con la insuficiencia de financiamiento, carencia de recurso humano calificado, falta de interés en la actividad turística se tiene como consecuencia una falta de fuente de ingresos y bienestar. Con el estudio que se desarrolló utilizando la herramienta SIG, se llega a un punto central, en el que es necesario la creación de bases de datos con información gráfica, que propicien un apoyo a los futuros impulsos turísticos, así como el correcto análisis que se implementa como apoyo al estudio espacial de la zona, donde características, como las proyecciones topográficas, hidrológicas, climatológicas y de usos de suelo, dieron como resultado un sistema de información geo-referenciado de la localidad de Jicaltepec, Ver. En este estudio se proyectaron sus principales rasgos geomorfológicos y ambientales de la zona; dicho sistema servirá de base para el proceso de evaluación e intervención de la localidad de Jicaltepec.

Por medio de la documentación y análisis de esta investigación, se obtuvo como resultado una mejor visión de la preparación de la información base, a partir de planos digitalizados disponibles en el software QGIS, de código abierto. Toda esta información se generó en coordenadas UTM, de modo que, al realizar el montaje de las diversas coberturas georreferenciadas, coinciden entre sí, además, fueron insertadas en los planos digitales, con lo cual se constató que no hubiese inconsistencias en la información utilizada.

Con lo anterior, se puede establecer una metodología de evaluación de características o atributos que definan el potencial para el desarrollo turístico de una comunidad, en este caso de estudio Jicaltepec, Ver., utilizando herramientas de geolocalización Sistemas de Información Geográfica como apoyo a la toma de decisiones.

5. Referencias

- Ascanio Guevara, Alfredo y Campos, Marcus Vinicius (2012). Turismo sustentable, el equilibrio necesario en el siglo XXI. Cap. 1. Editorial Trillas. México D.F.
- T. Martínez Tarragó, Manual para la identificación, formulación y evaluación de empresas de turismo rural en México, SECTUR, México, (2001).
- María Yubero Gómez, Francesc Xavier López Cachero, El uso de los SIG como herramienta de modelización geográfica en arqueología. El caso de estudio del poblamiento durante la prehistoria reciente en la cuenca del río Ripoll, Girona, Universidad de Girona, V Jornadas de Sig Libre, (2011).
- Nicolás Ferrand, Approche morphologique de l'urbanisation, Lyon et son Agglomération de 1945 à 2005. Données, outils et méthodes, Lyon, Université de Lyon, (2010).
- Grava, M. (2011). Fonti cartografiche di Toscana e Catalogna di età Moderna e Contemporanea. Ricostruire con il GIS, comunicare con WebGIS (Doctoral dissertation, alma).

Caldera de Ugarte, N; Reyes, M (1999). El SIGTUR-ZULIA-VENEZUELA. Una investigación aplicada: Los SIG en la planificación Integral del Turismo. Artículo publicado en la revista “Turismo em analise” Escuela de Comunicaciones y Arts de la Universidad de Sao Paulo, Brasil.

Asael Alejandro, Sarabia Rodríguez (2011). Efectos del cambio y variabilidad climática del maíz (zea mays) en la región centro occidente de México, estudio de caso: Distrito de Desarrollo Rural, Toluca, Estado de México (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

CONABIO, P. D. G. (2011). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

6. Notas Biográficas

El **Ing. Rafaél Octavio López Marcos** es Ingeniero Civil egresado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, y actualmente es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en esta misma institución.

El **Dr. David Reyes González**, es Dr. En Ciencia e Ingeniería de los Materiales, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, y actualmente es coordinador del Programa de Maestría en Ingeniería industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Tipificación del Calibre del Limón Persa con Simulación en ProModel

Nayeli Montalvo Romero¹, Profesora-Investigadora. Constantino Gerardo Moras Sánchez², PI. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre³, PI. Aarón Montiel Rosales⁴, PI.

Nayeli Montalvo Romero, es Profesora-Investigadora de la División de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón, Purísima del Rincón, Guanajuato. nayeli.mr@purisima.tecnm.mx.

² Constantino Gerardo Moras Sánchez, es PI. de la División de Estudios de Posgrado e Investigación en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz. t_moras@yahoo.com.mx.

³ Alberto Alfonso Aguilar Lasserre, es PI. de la División de Estudios de Posgrado e Investigación en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz. albertoaal@yahoo.com.

⁴ Aarón Montiel Rosales, es PI. de la División de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón, Purísima del Rincón, Guanajuato. aaron.mr@purisima.tecnm.mx.

Resumen— El cumplimiento de los requerimientos con los clientes dentro de la cadena de suministro, se torna incierto cuando existe variabilidad en el proveedor. Esta variabilidad en procesos controlables es casi nula; sin embargo, en aquellos procesos en los que los factores externos influyen significativamente en la característica de calidad deseada del producto, el cumplimiento de las especificaciones se vuelve complejo. Es el limón Persa, uno de estos productos en los que su calidad viene dada en función a los requerimientos de color y calibre. El presente trabajo de investigación, aborda el desarrollo de un modelo de simulación empleando la metodología Law y Kelton, el modelo desarrollado permite identificar el comportamiento de la demanda y la oferta, determinándose el grado de cumplimiento de los pedidos de los distintos mercados, *i.e.*, el modelo de simulación permitió establecer un plan de producción, capaz de determinar los requerimientos de producción que equilibran la oferta y la demanda; el modelo representa de manera fehaciente el comportamiento del limón Persa en un 99.71%. Los resultados son bastos y suficientes, al establecer que la Simulación apoya al proceso de toma de decisiones, permitiendo representar el comportamiento de sistemas reales a partir de la incertidumbre de las variables.

Palabra(s) clave— Tipificación, Simulación, ProModel, Limón Persa, Toma de Decisiones.

Abstract— Meeting requirements with customers within the supply chain becomes uncertain when there is variability in the supplier. This variability in controllable processes is almost zero; However, in those processes where external factors significantly influence the desired quality characteristic of the product, compliance with specifications becomes complex. It is the Persian lemon, one of these products in which its quality is given according to the requirements of color and caliber. This research work addresses the development of a simulation model using the Law and Kelton methodology, the developed model allows to identify the behavior of demand and supply, determining the degree of fulfillment of the orders of the different markets, *i.e.*, the simulation model allowed to establish a production plan, capable of determining the production requirements that balance supply and demand; the model effectively represents the behavior of the Persian lemon by 99.71%. The results are strong and sufficient, in establishing that Simulation supports the decision-making process, allowing to represent the behavior of real systems based on the uncertainty of the variables.

Key words— Typing, Simulation, ProModel, Persian Lemon, Decision-Making.

1. Introducción

La calidad de un producto viene dada por el cumplimiento de las especificaciones de diseño y del al menos el alcance de los deseos que el cliente tiene sobre él. En el área de los alimentos, la calidad además considera el aporte alimenticio. En los alimentos procesados o semiprocados, la determinación del aporte alimenticio tiene cierto control por parte del proceso productivo; sin embargo, la calidad de los alimentos de origen natural depende en mayor grado de los factores externos que de los factores internos. Si bien es cierto que es posible determinar la cantidad de fertilizante, las fechas de siembra, los tiempos y cantidades de riego, entre otros factores internos o controlables; resulta complejo determinar la intensidad de la radiación solar, la humedad ambiental, los nudos de viento, entre otros factores externos o no controlables. Ahora bien, los nutrientes en los productos de origen naturales son provistos en su mayoría por los factores externos, y medidos a partir de, *e.g.*, su forma, tamaño, color, textura. Es por ello, que la complejidad en la cadena de suministro de

los alimentos de origen natural recae en el eslabón del proveedor; al ser variable la cantidad y calidad del insumo que se entrega al eslabón productivo; lo que a su vez impacta en el eslabón del consumidor final.

Conocer el comportamiento de las cantidades y la calidad de alimento de origen natural, que ingresa a una empresa para ser procesado permite programar de manera eficiente las ordenes de pedido, determinar si se requiere reducir, mantener o incrementar la capacidad instalada, determinar los recursos humanos y/o tecnológicos, entre otros.

Evaluar el comportamiento del sistema físico real, resulta complejo debido a que implica asignarle tiempo, costo y recursos significativos a la recogida de información, procesamiento y análisis del proceso productivo. El proceso de toma de decisiones es dinámico, requiere información precisa y confiable. La simulación de sistemas es una de las herramientas que apoyan al proceso de toma de decisiones al permitir representar el comportamiento de un proceso productivo real mediante un modelo numérico (Pooch y Wall, 1992), (Chung, 2003), (Asllani, 2014) y (Carsey y Harden, 2014); determinando mediante este su comportamiento en menor tiempo, con menos recursos y quizá con un menor costo. Según (Shenoy *et al.*, 1986), algunos sistemas que se pueden simular son modelos de líneas de espera, modelos de inventarios, modelos de planeación de nuevos productos, modelos financieros.

La eficiencia en la analítica de información para el proceso de toma de decisiones empleando modelos de simulación es basto, *e.g.*, en (Zhang *et al.*, 2019) se presenta la simulación de un proceso de fabricación; en (Seam *et al.*, 2019) se simula la atención médica desde la capacitación en cuidados críticos como modalidad educativa en múltiples especialidades médicas; en (Šuljić *et al.*, 2019) se emplea la simulación Monte Carlo que utiliza los campos eléctricos extraídos de una simulación *Technology Computer-Aided Design* para modelar la deriva de los portadores de carga; en (Vieira *et al.*, 2020) se propone el uso de la simulación como un validador semántico de los datos; mientras que en (Vieira *et al.*, 2019), se presenta un modelo de simulación que considera la incertidumbre y la naturaleza dinámica del sistema de la cadena de suministro

El presente trabajo aborda, el desarrollo de un modelo de simulación de un producto alimenticio de origen natural, como lo es el limón Persa (*Citrus Latifolia Tanaka*), el cual, apoya al proceso de toma de decisiones gerenciales a partir de la cantidad y calidad que ingresa del huerto al proceso productivo. La calidad del limón Persa, es directamente proporcional al tamaño y color, *i.e.*, a mayor tamaño y uniformidad en color, mejor calidad del cítrico; por ende, el proceso de clasificación del limón Persa es de suma importancia.

En México, este alimento es cultivado principalmente en la Costa del Golfo de México (Veracruz, Tabasco, y Yucatán); en donde a su vez, se localizan las principales empresas de limón Persa del país. Según (SIAP, 2014) y (Curti *et al.*, 2000) México, es uno de los principales productores de limón Persa en el mundo; esto debido a la gran demanda que tiene en mercado nacional e internacional. Siendo el mercado internacional el sector que deja mayor derrama económica para las empresas de este ramo.

Típicamente, la cadena de suministro de una empresa exportadora está compuesta por cinco eslabones: Huerto-Empresa Exportadora-Empresas Comercializadoras-Detallistas-Consumidor. Siendo en la interrelación entre el primer y segundo eslabón, donde es clasificado el fruto a partir de los requerimientos de tamaño y color, al mismo tiempo que es separado el fruto lacerado, con heridas y en proceso de descomposición; y así cubrir los requerimientos del mercado meta.

En México: a) los requerimientos de calidad en cuanto al tamaño, se establecen sobre el diámetro ecuatorial del fruto, *i.e.*, el calibre, al mercado nacional le corresponde el limón Persa con diámetro menor o igual a 38 mm, lo que significa que en una caja caben en promedio 275 frutos de un tamaño similar, con una desviación de ± 10 limones, el fruto cuyo calibre es mayor es enviado al mercado internacional; por otra parte, b) los requerimientos de color, están dados por el porcentaje de uniformidad del color (sin manchas y sin quemaduras del sol). Debido a estos criterios de clasificación del fruto, del total que llega a la empresa solo cierta cantidad es enviada al mercado internacional. Las cantidades correspondientes de producto que se ofertan al mercado nacional e internacional se determinan al final del proceso de selección.

Se desarrolló un modelo de simulación que representa los arribos de diversos proveedores con múltiples cantidades de fruto a una empresa empacadora de limón Persa; así mismo, se modeló el proceso de clasificación, con la intención de determinar el comportamiento del sistema, y así apoyar al proceso de toma de decisiones en el ajuste de la capacidad de producción, que eficiente el proceso productivo de la empresa exportadora, garantizándose así el cumplimiento de los requerimientos de calidad.

2. Desarrollo

En la construcción del modelo, se emplea el software ProModel 7.5 en su versión de prueba. Al ser éste un programa con animación integrada capaz de modelar cuasi cualquier sistema de producción de bienes y/o servicios, y que provee estadísticos confiables (ProModel, 1999).

El modelo de simulación se desarrolla empleando información de una empresa empacadora de limón Persa, ubicada en Martínez de la Torre, Veracruz-México. Según Harrell y Price (2003), ProModel es

considerada como una herramienta capaz de representar sistemas y procesos, que van desde pequeños talleres de trabajo hasta sistemas completos de cadena de suministro.

La metodología empleada para el diseño, desarrollo y validación del modelo es la propuesta por Law y Kelton (2007), dicha metodología se presenta en la Figura 1. Dicha metodología ha sido ampliamente utilizada con efectividad, *e.g.* en (Broadie y Glasserman, 1997), (Montevecchi *et al.*, 2007), (Robinson, 2007), (Amini *et al.*, 2007) y (Løvås, 1994), al ser una metodología establecida, estructurada y lógica (Shannon, 1998), (Eldabi *et al.*, 2002), (Kleijnen, 1995) y (Davis *et al.*, 2007).

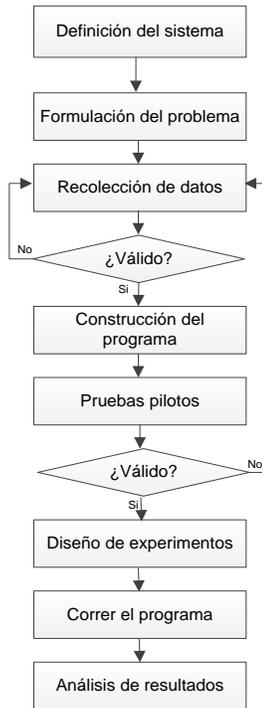


Figura 1: Metodología Law y Kelton (Law y Kelton, 1991, pp. 107)

En el caso bajo estudio, la metodología de Law y Keltón se describe en siete fases: en la Fase I, se define el comportamiento del sistema y de sus interrelaciones con los otros sistemas con lo que comparte información; posteriormente en la Fase II, se contextualiza la problemática del caso bajo estudio; mientras que en la Fase III, se define la variable de desempeño que permite evaluar el comportamiento de los valores observados con los esperados; subsiguientemente la Fase IV, conlleva la recolección de la información pertinente para la construcción del modelo a partir de los datos históricos, toma de tiempos y movimientos, y experiencia del personal de la empresa; mientras que la Fase V, a partir de la información obtenida en la fase previa se determina para cada variable el tipo de distribución que mejor represente el sistema real; posterior a ello en la Fase VI, se desarrolla el modelo de simulación empleando ProModel® 7.5 en su versión de prueba; finalmente en la Fase VII, se determina el número óptimo de corridas del modelo de simulación desarrollado.

Fase I: Definición del Sistema

Según (Coss Bu, 1990), la primera fase en el desarrollo de un modelo de simulación es efectuar un análisis preliminar; el cual, tiene la finalidad de conocer de manera exacta el comportamiento del sistema bajo estudio, así como de sus interrelaciones con los demás sistemas con los que interactúa.

El proceso de empaquetado del cítrico, desde su recolecta hasta su resguardo en el almacén de producto terminado listo para ser transportado, se presenta en la Figura 2.

El proceso de clasificación se integra por 11 etapas, siendo estas:

1. Recepción: comprende el arribo del limón Persa de lunes a viernes en un horario de 9:00 a 10:00 hrs. en rejas de plástico de 27 kg. Dependiendo de la cantidad de fruto que llegue y la hora de arribo, el cítrico puede pasar: a tolva, a piso o directamente irse a la línea de vaciado.
2. Tolva: se activa cuando inicia el proceso, implica el vaciado del fruto en la tolva.
3. Línea de Vaciado: sí el limón Persa pasa directamente al proceso, éste es depositado en la línea de vaciado, el cual, tiene la función de conectar la tolva con el calibrador mecánico.

4. Calibrador Mecánico: en esta etapa del proceso, el fruto es seleccionado considerando el diámetro. Se retira limón Persa con calibre inferior a 275, al mismo tiempo, se extraen contaminantes físicos, *e.g.*, residuos vegetales, piedra y astillas de madera. El fruto retirado se denomina *torreón*, y es enviado al mercado nacional.
5. Preselección: se efectúa de forma manual. Consiste en retirar del proceso el fruto herido, manchado, con quemaduras del sol, picado, con lesiones ocasionadas por plagas, cítrico en proceso de descomposición y laceración mecánica.
6. Lavado: finalizada la etapa anterior, el limón Persa se somete a un proceso de limpieza, con la intención de eliminar impurezas.
7. Sanitizado: es el proceso mediante el cual se elimina la contaminación microbiológica. Además, durante el transporte, almacenaje y procesamiento del fruto, permite la regulación del crecimiento microbiano.
8. Secado de Agua: la etapa implica el secado del fruto lavado y sanitizado. El secado, se conforma por tres cepillos giratorios que escurren el líquido del fruto y dos ventiladores que eliminan la humedad.
9. Encerado: el limón Persa es impregnado de cera con un fungicida. La cera aumenta el brillo y la vida de anaquel; juntamente con el fungicida, este tratamiento previene la formación de hongos, que afectan la calidad del fruto -el fungicida se aplica considerando los límites permitidos por cada país destino-.
10. Secado de Cera: subsiguiente al encerado, se procede a un secado uniforme aplicando aire caliente.
11. *Sizer*: el proceso de clasificación finaliza con un seleccionador automático, en donde se lleva a cabo una clasificación óptica. El *sizer* -cargado con un software de reconocimiento de imágenes-, selecciona el fruto y lo precipita, a uno de los 14 cajones de acuerdo con el calibre y el color. La salida del *sizer* es el cítrico con destino a Japón, la Unión Europea y los Estados Unidos de Norte América.



Figura 2: Proceso de Empaquetado del Limón Persa

Fase II: Definición del Problema

El limón Persa se comercializa en estado fresco. Según (Colegio de Posgraduados y FUNPROVER, 2003), Veracruz es líder mundial por proveer limón Persa de calidad, siendo Martínez de la Torre el municipio donde se concentra la mayor producción; esto debido a la experiencia, constancia y conocimiento que tiene del mercado lo que le permite un mejor manejo en el transporte y así tener precios competitivos. La ubicación geográfica de Veracruz, le permite tener ventaja competitiva en comparación con otros estados y países productores. El 90% de la producción de limón Persa, es enviado a diferentes mercados internacionales.

El limón Persa llega a granel a la empresa empacadora, en donde es catalogado y preparado para el consumidor final. El fruto al provenir de huertos habitualmente se encuentra manchado, lacrado o en estado de descomposición, y en menor grado se encuentra fruto de calidad. Aunado a lo anterior, al ser un producto agrícola que se cultiva en huertos las condiciones ambientales influyen en el color y tamaño del cítrico - parámetros que determinan la calidad-. El producto con mejores parámetros es exportado, siendo este el de mayor ingreso para los productores.

Fase III: Medida de Desempeño Evaluada

El desempeño del proceso esta dado por el cumplimiento de los parámetros de calidad del cítrico, siendo el mejor producto el exportado y el que genera mayor ingreso. Por consiguiente, se define como medida de desempeño la: kilogramos de fruto de calidad.

Fase IV: Recolección de Datos

A partir de datos históricos de la empresa, toma de tiempos y movimientos, así como la experiencia del personal de la empresa son considerados para conformar una base de datos integrada por:

- La cantidad de limón Persa con la que llega cada tipo de proveedor a la empresa, codificados como P-1, P-2, P-3 y P-4 (véase Tabla 1). Siendo el (a) P-1, un huerto de temporal, aquel que su sistema de riego depende de las condiciones climatológicas; el (b) P-2, engloba a los proveedores que le venden a la empresa constantemente pero su aportación es pequeña para considerarlos individualmente, por lo que se agrupan conteniendo huertos de temporal y de riego; el (c) P-3 es un huerto tecnificado, éste cuenta con sistema de riego, lo que significa que se puede regar en el momento que sea necesario, además de incluirse los nutrientes y los fertilizantes precisos; finalmente, el (d) P-4 se refiere a proveedores que esporádicamente venden la producción a la empresa o en casos donde la empresa realiza su compra en otros sitios, en este categorización se desconoce sí se trata de un huerto de temporal o de riego.

Código	Tipo de Proveedor	Producción (rejas)
P-1	Huerto temporal	288
P-2	Proveedores pequeños y constantes	684
P-3	Huerto tecnificado	348
P-4	Proveedores esporádicos	864

Tabla 1.- Tipificación de proveedores y producción diaria

- El comportamiento del fruto en el sistema se determina a partir de datos históricos del calibrador mecánico, la preselección y el sizer.
- En sistema considera únicamente rejas de 27 kilogramos, al ser la presentación con mayor empleo por parte de los productores en el traslado del limón Persa hacia la empresa.
- Se considera una jornada de trabajo normal, con llegadas diarias y arribo de todos los proveedores.
- El flujo del recorrido a través del proceso de clasificación y empaque del fruto dentro de la empresa empacadora, se muestra en la Figura 3.

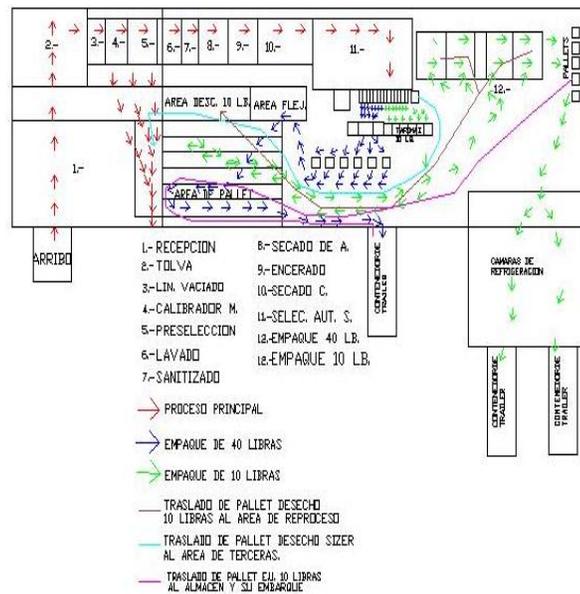


Figura 3: Diagrama de Flujo de Recorrido (Cortés, 2009)

Fase V: Validación de los Datos

Para cada variable se analiza el tipo de distribución que mejor represente el comportamiento de la variable, con la intención de desarrollar un modelo que considere la incertidumbre modelada por la distribución de probabilidad, por lo que, la información concentrada en la base de datos, se aplican pruebas de bondad de ajuste: Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, con un nivel de significancia del 5%. El tratamiento estadístico de los datos recabados, se efectuó empleando el software Stat::fit® versión 2, incluido en las herramientas de ProModel® 7.5 en su versión de prueba.

Fase VI: Construcción del Modelo de Simulación

La sexta fase, implica en sí el desarrollo de la modelación del sistema real en ProModel® 7.5 (ver Figura 4):

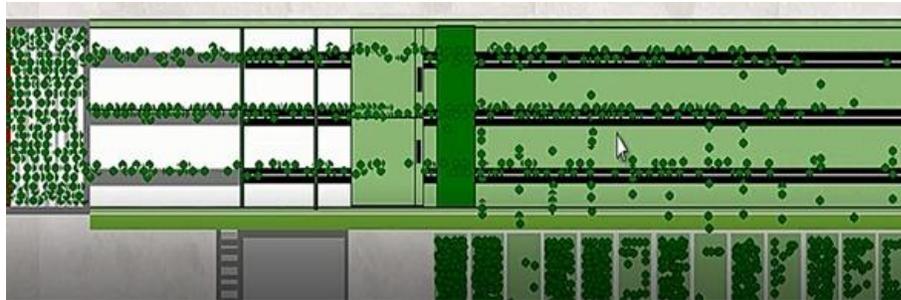


Figura 4: Modelo de Simulación de la Tipificación del limón Persa en ProModel® 7.5

- Verificación del modelo. Subsiguiente a la elaboración del modelo, se procedió a la comprobación de la lógica del proceso del modelo construido, esto por medio del *trace*, de ProModel® 7.5 en su versión de prueba. Después de aplicado el *trace*, se determina que el modelo desarrollado representa el sistema actual.
- Validación del modelo. A fin de corroborar, que los resultados reportados por el programa de simulación representan adecuadamente al sistema real, se aplicó la prueba *t*-apareada con un nivel de significancia de $\alpha = 0.10$ a las medidas de desempeño. Según Law (2007), la *t*-apareada implica que siendo X_1, X_2, \dots, X_K las observaciones del sistema real, y Y_1, Y_2, \dots, Y_L los datos generados por el modelo de simulación; se precisa necesario comparar los dos conjuntos de datos, para determinar si el modelo desarrollado es una representación válida del sistema real. Éste procedimiento inicia con la recolección de m conjuntos de datos independientes del sistema y n conjuntos de datos del modelo. Sea \bar{X}_j el promedio de las observaciones en el j -ésimo conjunto del sistema, y \bar{Y}_j el promedio de las observaciones en el j -ésimo conjunto de datos del modelo. Las X_j son variables aleatorias *IID* (Idénticamente e Independientemente Distribuidas) con media $\mu_x = E(X_j)$, y las Y_j son variables aleatorias *IID* (asumiendo que los n conjuntos de datos se obtuvieron de replicaciones diferentes) con media $\mu_y = E(Y_j)$, por lo que se compara el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para: $Z = \mu_x - \mu_y$. Usando la prueba *t*-apareada (se requiere que $m = n$). Las ecuaciones a emplear son la Ecuación (1), la Ecuación (2) y la Ecuación (3).

$$Z_i = X_i - Y_i \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\bar{Z}_{(n)} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\hat{var}[\bar{Z}_{(n)}] = \frac{\sum_{i=1}^n [Z_i - \bar{Z}_{(n)}]^2}{n(n-1)} \quad \text{Ecuación (3)}$$

El intervalo de confianza es $[100(1-\alpha)]\%$, para la Ecuación (4).

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}ar(\bar{Z}_{(n)})} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Sean $l(\alpha)$ y $u(\alpha)$, los límites de confianza inferior y superior respectivamente. Si $0 \notin [l(\alpha), u(\alpha)]$ entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y se representa como $\bar{X}_{(n)} - \bar{Y}_{(n)}$. Se dice que es estadísticamente significativa al nivel α . Esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula cuando $H_0 : \mu_x = \mu_y$, en favor de la alternativa $H_1 : \mu_x \neq \mu_y$. Para $0 \notin [l(\alpha), u(\alpha)]$ cualquier diferencia observada entre μ_x y μ_y no es estadísticamente significativa al nivel α y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias, aceptando así que el modelo es válido. Al aplicar la prueba t -apareada a la medida de desempeño “producción en kilogramos de fruto de calidad por día”; se observó la inclusión del cero en el intervalo de confianza construido, por lo que se aceptó como válido el modelo de simulación del sistema.

Fase VII: Diseño de Experimentos

En (Chung, 2004) se establece que un número adecuado de corridas iniciales es 10, éste provee un número suficiente de corridas para tener una confianza estadística razonable, dado que corridas adicionales pueden siempre ser añadidas subsecuentemente. Menciona Law (2007), que mediante la prueba $n^*(\beta)$ es posible determinar el número óptimo de corridas en un modelo de simulación, una vez que éste ha sido validado, para con ello estimar $\mu = E(X)$ con error específico (β).

Sí se construye un intervalo de confianza para μ basado en un número fijo de replicaciones n , una expresión aproximada para el número total de replicaciones $n^*(\beta)$ requerido para obtener un error absoluto de β es dado por la Ecuación (5).

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad \text{Ecuación (5)}$$

De acuerdo a la aplicación de la prueba y con un 96% de confianza, se denotó que el número óptimo de replicaciones es 12; con esto se asegura que el error absoluto en la medida de desempeño sea menor al establecido.

3. Resultados

Durante el desarrollo de la metodología de Law y Keltón se obtuvieron los hallazgos en las siete fases. En la Fase I, se determinó que el proceso de clasificación del limón Persa se integra por 11 etapas, siendo estas: la recepción, la tolva, la línea de vaciado, el calibrador mecánico, la preselección, el lavado, el sanitizado, el secado de agua, el encerado, el secado de cera, y el *sizer*. Mientras que en la Fase II, se identifica que el color y el tamaño del cítrico, son los parámetros que determinan la calidad del cítrico, siendo los mejores cítricos producto de exportación. Posteriormente, en la Fase III, a partir de la experiencia de los expertos se define como variable de desempeño los kilogramos de frutos de calidad. En la Fase IV, durante 6 meses se recabó información de la empresa empacadora a partir de registros históricos, toma de tiempos y movimientos en línea de producción, y de la experiencia del personal operativo y administrativo, de cuatro diferentes tipos de proveedor identificados: proveedor de huerto temporal, proveedor pequeño y constante, proveedor de huerto tecnificado y proveedor esporádico. Subsiguientemente, en la Fase V, a través de aplicar pruebas de bondad de ajuste (Chi-Cuadrada, Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling) en el software Stat::fit® versión 2.0, se determinó el tipo de distribución que mejor representa cada variable del modelo desarrollado. En la Fase VI, se desarrolla el modelo de simulación empleando ProModel® 7.5 en su versión de prueba, en alrededor de un mes, implicando verificación y validación del modelo. Finalmente en la Fase VII, se determinó que número óptimo de corridas es 12, de acuerdo a la aplicación del método.

En la Figura 5 se presenta el comportamiento de los arribos del limón Persa en el sistema real en comparación con el modelo de simulación, el modelo de simulación presenta una eficiencia del 99.71% teniéndose en promedio una desviación estándar de 50.25 kg de diferencia entre el sistema real y el simulado.

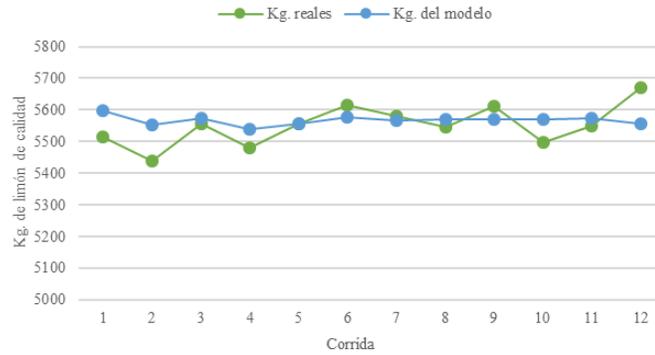


Figura 5: Modelo Real vs Modelo de Simulación

El modelo de simulación estima que arriban a la empresa 4 proveedores con 58,968.00 kg, de los cuales 52,900.00 kg corresponden a fruto con calidad de exportación. Con la intención de determinar el comportamiento del sistema ante cambios en los insumos, se simuló un escenario con un incremento en los huertos del P-1 y P-3; obteniéndose que el P-1 incremento la producción en un 4.32%, mientras que el P-3 incremento la producción en un 15.53%. De la misma manera, se generó un escenario con un incremento para el P-1 del 7.31% y para el P-3 de 172.82%; con lo que arribaron 323 rejas y 1124 rejas, respectivamente.

Las salidas del modelo permiten conocer las cantidades y características del limón Persa por proveedor que arribara a la empresa, permitiendo programar los requerimientos para los mercados de EE.UU., Japón y de Europa (Figura 6). El modelo permite estimar el programa de producción, así como el inventario del fruto.

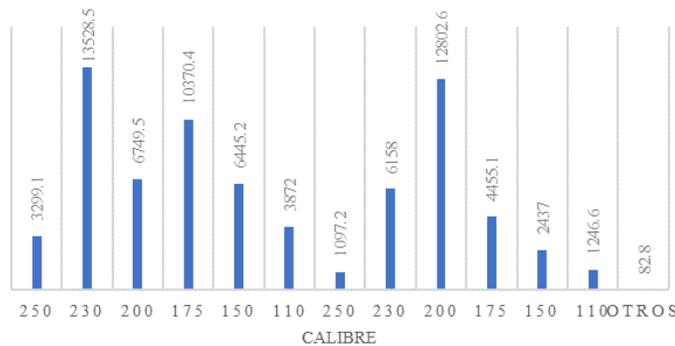


Figura 6: Llegadas Estimada por Calibre (kg)

El modelo de simulación clasifica por proveedor, al fruto con calidad exportación por calibre, de acuerdo, al mercado destino. Así, para el empaque de 40 libras se clasifica en: 110, 150, 175, 200, 230 y 250; y, para el empaque de 10 libras en: 110, 150, 175, 200, 230 y 250, la conversión a calibres (63, 54, 48, 42, 36 y 28) de esta línea se realiza en el área de empaque manual. La predicción del incremento de la producción de los proveedores, implica mayor cantidad en las llegadas de la empresa.

4. Conclusiones

El modelo de simulación desarrollado representa de manera viable el proceso de clasificación de limón Persa, al representar en un 99.71% los kilogramos de fruto de calidad observados con los esperados. Al generarse diversos escenarios de arribos, es posible determinar el impacto en el incremento para cada uno de los proveedores (proveedor de huerto temporal, proveedor pequeño y constante, proveedor de huerto tecnificado y proveedor esporádico). Con lo que es posible conjeturar, que el modelo de simulación desarrollado sirve de apoyo en el proceso de toma de decisiones gerenciales al determinar el grado de cumplimiento de las ordenes de pedido, al permitir equilibrar la oferta y la demanda; esto a partir del comportamiento de los kilogramos de fruto de calidad de las llegadas de cada proveedor. Así mismo, se evidencia de manera fehaciente que el modelo de simulación permite evaluar el comportamiento del sistema real, con lo que se demuestra el potencial de la herramienta. Como trabajo futuro, se analizará la capacidad instalada que se tiene en cada fase del proceso, y con ello determinar si se requiere transferencia de tecnológica, a partir de un análisis de factibilidad técnico-económico.

5. Referencias

- Amini, M., Otondo, R. F., Janz, B. D. & Pitts, M. G. (2007). *Simulation Modeling and Analysis: a Collateral Application and Exposition of RFID Technology*. Production and Operations Management. 16(5) 586-598.
- Asllani, A. (2014). *Business Analytics with Management Science Models and Methods*. Unites States: Pearson Education, Inc.
- Broadie, M. & Glasserman, P. (1997). *Pricing American-Style Securities Using Simulation*. Journal of Economic Dynamics and Control. 21(8) 1323-1352.
- Carsey, T. M. & Harden, J. J. (2014). *Monte Carlo Simulation and Resampling Methods for Social Science*. United States: SAGE Publications, Inc.
- Chung, C. A. (2003). *Simulation Modeling Handbook—A Practical Approach*. Unites States: CRC Press, Inc.
- Chung, C. A. (2004). *Simulation Modeling Handbook, a Practical Approach*. United States: CRC Press.
- Colegio de Posgraduados, y FUNPROVER. (2003). *Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena Productiva del Limón Persa en el Estado de Veracruz*. México.
- Cortés, M. (2009). *Estudio de Tiempos y Movimientos para el Diseño de una Base de Datos de las Operaciones del Empaque de Limón Persa de Exportadora de Cítricos San Gabriel, S.A. de C.V.* Tesis de licenciatura: Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Veracruz, México.
- Coss Bu, R. (1990). *Simulación, un Enfoque Práctico*. México: Editorial Limusa.
- Curti, S. A., Loredó, X., Díaz, U., Sandoval, J. A. & Hernández, J. (2000). *Tecnología para Producir Limón Persa*, Veracruz-México: INIFAP-CIRGOC, Campo Experimental Ixtacuaco, Libro Técnico Núm. 8.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M. & Bingham, C. B. (2007). *Developing Theory Through Simulation Methods*. Academy of Management Review. 32(2) 480-499.
- Eldabi, T., Irani, Z., Paul, R. J. & Love, P. E. (2002). *Quantitative and Qualitative Decision-Making Methods in Simulation Modelling*. Management Decision. 40(1) 64-73.
- Harrell, C. R. & Price, R. N. (2003). *Simulation Modeling Using ProModel Technology: Simulation Modeling Using ProModel Technology*. Journal WSC '03 Proceedings of the 35th Conference on Winter Simulation: Driving Innovation. 175-181.
- Kleijnen, J. P. (1995). *Verification and Validation of Simulation Models*. European Journal of Operational Research. 82(1) 145-162.
- Law, A. M. & Kelton, D. W. (2007). *Simulation Modeling and Analysis*. United States: Editorial Mc Graw Hill.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. Singapore: McGraw-Hill. Inc.
- Law, A. M. (2007). *Simulation Modeling and Analysis*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Løvås, G. G. (1994). *Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow*. Transportation Research Part B: Methodological. 28(6) 429-443.
- Montevecchi, J. A. B., de Pinho, A. F., Leal, F. & Marins, F. A. S. (2007). *Application of Design of Experiments on the Simulation of a Process in an Automotive Industry*. In Proceedings of the 39th Conference on Winter Simulation: 40 years! The best is yet to come. IEEE Press. 1601-1609.
- Pooch, U. W. & Wall, J. A. (1992). *Discrete Event Simulation—A Practical Approach*. Unites States: CRC Press, Inc.
- ProModel. (1999). *User's Guide*. Unites States: ProModel Corporation.
- Robinson, S. (2007). *A Statistical Process Control Approach to Selecting a Warm-Up Period for a Discrete-Event Simulation*. European Journal of Operational Research. 176(1) 332-346.
- Seam, N., Lee, A. J., Vennero, M. & Emler, L. (2019). *Simulation Training in the ICU*. Journal Chest.
- Shannon, R. E. (1998). *Introduction to the Art and Science of Simulation*. In Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation. IEEE Computer Society Press. 7-14.
- Shenoy, G. V., Srivastava, U. K. & Sharma, S. C. (1986). *Operations Research for Management*. India: New Age International (P) Limited, Publishers.
- SIAP. (2014). *Limón Persa*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultada [07.08.2016]: <http://www.siap.gob.mx/limon-persa/>.
- Šuljić, M., Camerini, P. & Van Hoorne, J. W. (2019). *Monte Carlo Simulation of Charge Collection Processes in Monolithic Active Pixel Sensors for the ALICE ITS Upgrade*. Journal Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162882>.
- Vieira, A., Dias, L., Santos, M., Pereira, G. & Oliveira, J. (2019). *Simulation of an Automotive Supply Chain Using Big Data*. Journal Computers & Industrial Engineering. (137). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106033>.
- Vieira, A., Dias, L., Santos, M., Pereira, G. & Oliveira, J. (2020). *On the Use of Simulation as a Big Data Semantic Validator for Supply Chain Management*. Journal Simulation Modelling Practice and Theory. (98). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101985>.

Zhang, L., Zhou, L., Ren, L. & Laili, Y. (2019). *Modeling and Simulation in Intelligent Manufacturing*. Journal Computers in Industry. (112) 103-123.

6. Notas Biográficas

La **MII. Nayeli Montalvo Romero** es MII. por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México, actualmente se desempeña como Profesora-Investigadora por el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón.

El **M.C. Constantino Genaro Moras Sánchez** estudió la Licenciatura en Ingeniería Industrial en la Universidad de las Américas, Puebla-México. Posteriormente, estudió la Maestría en Ciencias de la Ingeniería en *Texas Tech University*, Texas-U.S.A. Es PI. de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Orizaba. El área de generación y aplicación de conocimiento que cultiva es simulación de procesos.

El **Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre** estudió la Licenciatura en Ingeniería Mecánica-Eléctrica en la Universidad Veracruzana, Veracruz-México. Posteriormente, estudio la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz-México. El Doctorado en Ingeniería de Procesos y Medio Ambiente en el *Institut National Polytechnique de Toulouse*, Toulouse, Francia-México. Es PI. de Tiempo Completo del Instituto Tecnológico de Orizaba. El área de generación y aplicación de conocimiento que cultiva es optimización de los sistemas de calidad y manufactura.

El **MI. Aarón Montiel Rosales** es MII. por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México, actualmente se desempeña como PI. por el Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón.

Usos de Tres Especies de Leguminosas Presentes en la Región Tropical de México

Francisco Enrique Cab Jiménez, ¹IA., Ana María Pérez Maldonado, Ingeniero metalúrgico², Javier Francisco Enríquez Quiroz, IA.³, Israel Robles Hernández⁴

Francisco Enrique Cab Jiménez, IA., es profesor del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, Veracruz, franciscoenriquecabjimenez@gmail.com

² Ana María Pérez Maldonado, Ingeniero Metalúrgico. es profesor del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, Veracruz, anamaria.perez.maldonado87@gmail.com

³ Javier Francisco Enríquez Quiroz, IA., Investigador del INIFAP, Campo Experimental, La Posta. Paso del Toro, Veracruz, quiroz_jf@yahoo.com

⁴Israel Robles Hernández, Ingeniero Mecánico-electricista, es profesor del Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, Veracruz, israelrobles2013@gmail.com

Resumen—Durante las últimas décadas se han realizado estudios con fines para utilizar de la manera correcta los recursos naturales de la región, dentro de las especies más conocidas y estudiadas tenemos la familia de las leguminosas (*Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* y *Papilionoideae*) para la alimentación animal, sin embargo, existe una variedad de usos. Así, se realizaron recolectas de leguminosas en el estado de Yucatán, con el objetivo de seleccionar las más promisorias por sus características de abundante biomasa, sin espinas, con porte de arbusto y que sean perennifolias, así realizar una revisión de literatura sobre su potencial forrajero, una vez identificadas. Durante la recolección se hizo ubicando las zonas ganaderas, localidades donde la gente tuviera plantas con las características definidas previamente de las plantas, se realizaban paradas continuas cada 50 km para realizar una inspección de la zona. Se tomaron muestras de material para herbario, flores y frutos. La identificación se realizó en el herbario del Colegio de Postgraduados y en el herbario de la UNAM. Se logró identificar hasta nombre científico, dentro de las cuales se eligió tres (*Haematoxylon campechianum* L., *Caesalpinia yucatanensis* Greenm y *Diphysa yucatanensis*) para realizar su descripción detallada de sus usos más sobresalientes. El uso más común entre especies fue como ornamental, leña, cercos vivos, medicinales y fuente de forraje. Este último punto es interesante ya que en diversos estudios realizados para especies locales se ha informado que son consumidos por bovinos, caprinos, ovinos, gallinas y caballos. Para estudios posteriores sería recomendable definir el uso de especies más utilizadas para la alimentación animal puesto que representan un aporte de nutrientes y pueden ser introducidos en el sistema de producción.

Palabra(s) clave— leguminosas, medicinal, ornamental, pastoreo.

Abstract— During the last decades, studies have been carried out with the purpose of using the natural resources of the region in the correct way, within the most known and studied species we have the legume family (*Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* and *Papilionoideae*) for animal feeding, without However, there are a variety of uses. Thus, leguminous collections were made in the state of Yucatán, with the aim of selecting the most promising ones due to their characteristics of abundant biomass, without thorns, with shrubby bearing and that are evergreen, thus reviewing literature on their forage potential, once identified. During the collection it was done by locating the livestock areas, localities where people had plants with the previously defined characteristics of the plants, continuous stops were made every 50 km to perform an inspection of the area. Samples of herbarium material, flowers and fruits were taken. The identification was made in the herbarium of the Graduate College and in the herbarium of the UNAM. It was possible to identify up to a scientific name, among which three (*Haematoxylon campechianum* L., *Caesalpinia yucatanensis* Greenm and *Diphysa yucatanensis*) were chosen to make a detailed description of their most outstanding uses. The most common use among species was as ornamental, firewood, live fences, medicinal and forage source. This last point is interesting since in several studies carried out for local species it has been reported that they are consumed by cattle, goats, sheep, chickens and horses. For subsequent studies it would be advisable to define the use of species most used for animal feed since they represent a nutrient contribution and can be introduced into the production system.

Key words- Legumes, medicinal, ornamental, grazing.

1. Introducción

Durante las últimas décadas se han realizado numerosos estudios para conocer las características de los árboles y arbustos que rodean la región de la península de Yucatán, principalmente mediante la recolección e identificación botánica, según el fin, pueden ser ornamentales, alimenticios para la población, medicinales, maderables, y su uso en la ganadería, etc (INEGI, 2017). Una de las familias más estudiadas por su aporte en la alimentación y usos múltiples para los lugareños son las leguminosas, con un valor en su consistencia de proteína, aminoácidos, carbohidratos y vitaminas (Guadarrama *et al.*, 2018). En la zona se practica la roza-tumba-quema y después de esta actividad se buscaba sembrar plantas que aporten nutrientes al suelo para su uso posterior en cultivos como el maíz principalmente, de esta forma las leguminosas juegan un papel importante por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Dzib y Arias, 2015). En varios estados de la república mexicana se han realizado colectas e identificaciones donde sobresalen las especies pertenecientes a *Fabaceae*, confirmando su presencia en zonas ecológicas donde la deficiencia de alimentación es recurrente en la época seca del año (Sosa *et al.*, 2004). La caracterización de especies arbóreas para su incorporación a los sistemas de producción es una meta a cumplir; con lo que se aprovecharán las especies nativas, para aumentar rendimientos de carne y leche y así, disminuir los costos de producción (Rodríguez *et al.*, 1994). *Leucaena*, *Gliricidia*, *Cratylia*, *Acacia* y *Pithecellobium* incluyen especies utilizadas; sin embargo, existe una gran diversidad de especies que aún necesitan ser estudiadas para su introducción a los sistemas de producción como bancos de proteína, sistemas silvopastoriles o en asociación gramínea-leguminosa, aumentando la calidad y cantidad del forraje presente en la pradera (Pinto-Ruiz *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2008). El objetivo del presente estudio fue realizar recolectas de leguminosas arbóreas y arbustivas en el estado de Yucatán, realizar su identificación, descripción botánica y determinar los usos más sobresalientes.

2. Desarrollo

Sitios de recolecta

La recolección de las especies arbustivas y arbóreas nativas fue en el estado de Yucatán. La temperatura media anual predominante en la región varía alrededor de 26°C, con 23°C como mínima y 28°C como máxima. La precipitación media anual varía entre 1000-1800 mm. Con clima cálido subhúmedo y lluvias en verano (García, 1988). Se caracterizan por tener en su territorio selva media y vegetación secundaria.

Procedimiento de recolecta

Se siguió la metodología descrita por Machado y colaboradores (1992); la cual consiste en recorrer carreteras o caminos; un trayecto previamente determinado haciendo paradas conforme se observa el cambio en la vegetación, topografía y el suelo. En cada parada en la carretera se examinó la vegetación nativa hasta una cierta distancia pues la variación se puede dar de unos pocos a varios cientos de metros cuadrados.

Criterios tomados para la selección

Siempre se buscaron especies pertenecientes a la familia de las leguminosas, ya sea de las subfamilias: *Papilionoideae*, *Caesalpinioideae* y *Mimosoideae*. La selección se realizó bajo conocimiento de las flores, hojas, frutos y tipo de crecimiento. Dado al objetivo de la investigación, estas leguminosas tendrían las características de poseer abundante biomasa aérea (hojas) y carecer de espinas, estos puntos fueron los que se tomaron en cuenta durante los recorridos. El material se mantuvo en presas botánicas para su conservación, así mantener las características de la planta sin que sufriera muchos cambios y poder ser identificadas.

Se realizó un total de seis viajes de colectas, el primer recorrido sirvió para identificar la vegetación y determinar puntos que se recorrerían en los viajes subsecuentes; esto, debido a que fue necesario recolectar partes de las plantas en diferentes fases de crecimiento (vegetativo y reproductivo), lo que permitió obtener material vegetal adecuado para su identificación hasta especie.

En cada sitio donde se recolectó, se tomaron cuatro muestras vegetales, se prensaron en prensa botánica, se tomaron datos básicos como altitud, longitud, características topográficas y zona ecológica. Para cada material

recolectado, se tomaron muestras de flor completa, las cuales, fueron introducidas en alcohol al 75%, con el fin de conservarlas en buen estado para su identificación en laboratorio. Es importante señalar que las recolectas se realizaron en zonas cercanas a la población y productivas como ganaderas.

Identificación y caracterización

La identificación de las especies muestreadas se llevó a cabo en el Herbario del Colegio de Postgraduados y en el Herbario de la Universidad Nacional Autónoma de México, mediante el uso de claves taxonómicas y comparación con material de los herbarios mencionados anteriormente. Se mencionarán las características nutritivas de las especies, con el apoyo de información bibliográfica.

3. Resultados

Los resultados indican que existe una gran diversidad de especies arbustivas y arbóreas en Yucatán, sin embargo, para fines de este trabajo se seleccionó tres para su descripción taxonómica y usos por la comunidad de la región. Las cuales se encuentran entre las familias: *Caesalpinoideae* y *Papilionoideae*.

Leguminosas	Hábitat específico	Tipo de	Localización del
<i>Haematoxylon campechianum</i> L.	Cítricos y gramíneas	Pedregoso	Orillas de carretera
<i>C. yucatanensis</i> Greenm.	<i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Panicum máximum</i> y <i>Brachiaria</i> .	Litosol	Potreros a orilla de la carretera
<i>Diphysa yucatanensis</i>	<i>Lysiloma latisiliquum</i> , <i>Leucaena leucocephala</i> , <i>Panicum máximum</i> y <i>Cynodon</i>	Pedregoso	Potreros a orilla de la carretera

1. Identificación de las especies de acuerdo a su habitat.

Se realiza la descripción de las tres especies de acuerdo a sus principales características.

Haematoxylon campechianum L.

Nombres comunes. Ek', Palo de Tinta, Palo de Campeche, Tinta, Bon Che', Eek' (Arellano *et al.*, 2003).

Descripción.

Planta arbórea o arbustiva, de hasta 8 m, con espinas 0.4-1.5 cm; rojo negruzcas en la parte superior, ramas cilíndricas, glabras, lenticeladas. Hojas unipinnadas, las inferiores bipinnadas, paripinadas, eje de las hojas 3-4 cm; pinnas tres; estípulas cetáceas, 3 mm; peciolos 3-1.5 cm. Foliolos 3-4 pares, obovados, ápice profundamente emarginado, base ligeramente asimétrica y cuneada, glabros, peciolulos de menos 1 mm. Nervio medio conspicuo por el envés; venas secundarias más conspicuas por la faz que por el envés, venación principal inconspicua (Barreto, 1998).

Inflorescencia axilar, racemosa; eje de la inflorescencia 2.5-7 cm; pedicelos 4-6 mm. Sépalos oblongos a estrechamente abovados. Pétalos blancos amarillentos, abovados, 4-5 mm. Diez estambres; filamentos, 3.7-4.7 mm, con tricomas blancos, setosos, en la porción media hacia la base; anteras dorsifijas. Legumbre samaroides, oblonga, delgada, membranacea, glabra, ligeramente estipitada.

Crece bien en matorrales xeromorfos, costeros y subcosteros, y en bosques siempre verde, en selvas bajas, inundable, bosque haematoxylon y Lonchocarpus (Arellano *et al.*, 2003; Barreto, 1998).

Usos. Esta especie es originaria de Yucatán, y es utilizada como ornamental por sus flores, también como arboles de sombra, melífera (néctar y polen; Andrés, 2004).



Foto 1. *Haematoxylon campechianum* L.

***Caesalpinia yucatanensis* Greenm. subsp. yucatanensis.**

Nombre común: K'anpok'olk'um, Ta'k'inche', Xk'anpok'olk'um, Top Ok'um, Coccoite Negro, Mascabche, Takinche, Taak'inche', Top Lajun, Xpak'um (Arellano *et al.*, 2003).

Descripción.

Plantas arbóreas, arbustivas o herbáceas o trepadoras, espinosas o inermes. Hojas alternas, bipinnadas o raramente unipinnadas, pinnas opuestas a subopuestas; estípulas variables, ausentes o tempranamente dehiscentes, o inconspicuas. Inflorescencia axilar o terminal, racemosa paniculada, flores hermafroditas, raramente unisexuales, pentámeras, amarillas o rojas, a menudo vistosas. Brácteas ausentes en la antesis o persistentes; bractéolas ausentes. Cáliz zigomorfo, sépalos cinco, separados casi hasta la base, imbricados, el más inferior externo, cóncavo a cimbitiforme; hipanto presente. Pétalos cinco, imbricados, ligeramente desiguales o el superior más pequeño. Estambres diez, fértiles; filamentos a menudo pubescentes o glandulosos en la base. Legumbre bivalvo o indehisciente, inerme o espinoso, aovado o lanceolado, comprimido, áptero. Semillas transversas, aovadas a orbiculares, o globosas, con endosperma o sin endosperma, con radícula recta o ligeramente oblicua (Barreto, 1998).

Planta de selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia, endémica. Se tiene poca información sobre esta especie, se distribuye en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Veracruz, Tabasco, Chiapas, Belice y el Peten (Arellano *et al.*, 2003).

Usos. Maderable y para cercar terrenos; melífera (polen); potencial como planta ornamental (Rico-Gray *et al.*, 1990).

C. yucatanensis ha sido utilizada en los sistemas de producción de “milpas” por los productores de maíz en el estado de Yucatán; obteniendo resultados, como mejorador del suelo por la aportación de nitrógeno a un plazo de cuatro años. El incremento en rendimiento de maíz se le atribuye a la asociación con la leguminosa. Después de la cosecha, se introducen bovinos al sistema de milpa (Ayala *et al.*, 2005).

***Diphysa yucatanensis* Hanan et M. Sousa.**

Nombre común: Hilpicoy, Dzutuk, Dzucuc Susuk, Tsu'uts'u, Tzuk-tzuc, X-tsutsuk, Zuzoc, Quiebra Hacha, Ruda Simarrona.

Descripción.

Árboles o arbustos (1-) 3-4 (-8) m de alto, raramente con nudosidades de donde surgen numerosas ramillas frecuentemente con braquiblastos; rara vez con espinas; algunas ramitas con crecimiento en zigzag, a veces ramas fistulosas, glabras a glabriúsculas. Estípulas de 1.5-4 mm de largo, 0.4-0.8 mm de ancho en la base, angostamente triangulares, ligeramente falsiformes, cartáceas. Las hojas (5-) 6-7.5 cm de largo; pulvínulo evidente; raquis terete, grabriúsculo, con escasos tricomas glandulares de base engrosada; folíolos (5-) 11-13 (-19), peciólulos 1-1.2 mm de largo, lámina de 1-2 cm de largo, 0.6-0.9 cm de ancho, obovada, raramente oblonga. Inflorescencias racemosas, paucifloras, generalmente una por axila, (1.5-) 2.5-3.5 cm de largo, raramente con escasos tricomas glandulares de base engrosada; brácteas desconocidas, tempranamente caducas. Pétalos amarillos, estandarte 1.2-1.5 cm de largo, reflexo a fuertemente reflexo. Legumbres poco infladas, (3.5-) 4.5-6 (-9) cm de largo, 1.2-1.7 (-2) cm de ancho, angostamente elípticas a oblongas, cartáceas, color castaño-verdoso a castaño oscuro, opacas, venación reticulada poco evidente; estípote 0.5-0.8 cm de largo, recto, generalmente cubierto por el cáliz, persistente; base redondeada; márgenes nervados, rectos, sin constricciones (Hanan y Sousa, 2009).

Esta especie se distribuye desde la Península de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Belice y el Petén, Guatemala, en áreas aledañas de Tabasco y Chiapas. Crece bien selvas bajas y medianas caducifolias y subcaducifolias, también, se encuentra en vegetación secundaria y se mantiene en potreros.

Usos. Hoja y raíces con propiedades medicinales, se usan para sanar heridas y desinflamar. La madera para la construcción de casas, postes, leña y melífera.



Foto 2. *Diphysa yucatanensis* Hanan et M. Sousa

Discusión

Se obtuvo información de las especies recolectadas, que incluyó: morfología, usos, composición química, y potencial forrajero. De las leguminosas reportadas, no se observó presencia de espinas durante los periodos de colecta, mostraron abundante proporción de hojas. De acuerdo a lo observado en campo.

En la subfamilia *Caesalpinioideae* se ubicó la mayoría de las especies recolectadas y sobresalieron *Cesalpinia yucatanensis*, con porte arbustivo. Otras como *C. paraguariensis* son utilizadas en la ganadería por su aportación de nutrimentos (17.8% de proteína cruda en hojas) en las praderas (Aronson y Toledo, 1992); por lo que, esta pudiera ser incluida en los sistemas de pastoreo del trópico, ya que, en semillas, posee 42% de PC (Bhat y Karim, 2009). Géneros dentro de la misma subfamilia tienen usos ornamentales: *Senna*, *Haematoxylon*, *Caesalpinia* y *Bauhinia*, representativos de los estados que abarcan la Península (Arellano et al., 1998).

En recolectas realizadas en Cuba se ha observado la presencia de diferentes accesiones de *Leucaena* entre ellas *leucocephala* y *purpureus*, estas son consideradas especies que resisten suelos pobres en materia orgánica y se recomiendan para su uso en sistemas silvopastoriles por su cobertura aérea (Machado *et al.*, 2005). Algunas especies de *Calliandra* han sido evaluadas con el objetivo de determinar su composición química; así, *C. houstoniana* puede ser una fuente de proteína.

Para poder identificar y seleccionar especies con potencial para la ganadería es necesario realizar recolectas, estudios agronómicos y de manejo. Ya que solo en México existen más de 623 especies de la familia Fabaceae, de todas éstas, cerca del 46% son endémicas del país (Ricker *et al.*, 2007).

En *Papilionoideae* se registró *Diphysa yucatanensis*, ampliamente distribuidas en la Península. Por otra parte, *D. yucatanensis* es una nueva especie que se ha identificado en la Península, hasta el momento se sabe muy poco sobre sus usos, principalmente, medicinal y su madera, para la construcción de viviendas (Hanan y Sousa, 2009).

Durante el recorrido para las recolectas se muestrearon, principalmente, zonas ganaderas y se observó abundante presencia de árboles, vegetación secundaria, y los principales géneros documentados fueron: *Leucaena*, *Enterolobium*, *Bahúinia*, *Piscidia*, *Lysiloma* y *Albizia*. Estas especies ocurren con frecuencia en lugares donde se pastorean animales, son resistentes a suelos pobres y, lo más importante, resisten la época seca; siendo productivas con follaje, lo cual es aprovechado en los periodos cuando las gramíneas reducen su producción (Olivera *et al.*, 2008).

El uso de las leguminosas a nivel mundial ha sido para grano, pasturas y en sistemas agroforestales, muchas especies han sido catalogadas por su producción de biomasa o grano, como los géneros *Vicia*, *Cajanus*, *Vigna*, *Arachis*, etc. y, en la agroforestería: *Acacia*, *Anadenathera*, *Calliandra*, *Erythrina*, *Gliricidia*, *Melanoxylum*, *Prosopis* y *Samanea* (Graham y Vance, 2003). Estas especies se relacionan ampliamente con las recolectadas en la Península, ya que se distribuyen en zonas tropicales, con temperaturas elevadas y periodos largos de sequía como en Campeche y Yucatán. Sin embargo, el uso que se les proporciona es diverso en todo el país, desde, la madera utilizada para construcción, leña o artesanías (Seth, 2004).

4. Conclusión

La mayoría de las especies identificadas presentan abundante follaje durante todo el año, son inermes y resisten la época seca del año. Las plantas identificadas poseen crecimiento arbóreo o arbustivo en campo, con promedio de altura de 4-8 y 10 o más metros de altura. Algunas son utilizadas en la ganadería y de rápido rebrote con manejo, como alturas de corte. Los sitios de recolecta presentaban abundante presencia de árboles, arbustos y gramíneas, catalogadas como vegetación en sucesión secundaria, característica de los Estados mencionados, con predominancia de leguminosas.

5. Referencias

- Ayala S. A., Uribe V. G. and Basulto G. J. A. 2005. Improved fallows with forages trees for a slash and burn maize system in the Yucatan Peninsula. En: Mosquera-Losada, Riguero-Rodríguez M. R. and McAdan J. A. (eds.) *Silvopastoralism and sustainable land management*. CABI publishing. Wallingford, Oxfordshire, GBR. p. 44-45.
- Arellano R. J. A., Flores G. J. S., Tun G. J. y Cruz B. M. M. 2003. Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. Departamento Editorial. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán. 815 p.
- Aronson J. and Toledo C. S. 1992. *Caesalpinia paraguariensis* (Fabaceae): forage tree for all seasons. *Economic Botany*. 46(2):121-132.
- Andrés C. 2004. Leguminosas ornamentales de la ciudad de Sevilla, clave para su identificación. *Lagascalía*. 24:19-30.
- Bhat R. and Karim A. A. 2009. Exploring the nutritional potential of wild and underutilized legumes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 8:305-331.

- Dzib A. L. A. y Arias R. L. M. 2015. Manejo integral de agro ecosistemas milpa tradicional en Yucatán. En Córdoba T. L., Antonio L. P., Reyes S. P. J., Villegas M. A., Cadena I. J., Mera O. L. M., Lépiz I. R., González S. R. y Gámez M. O. Resultados en conservación, uso y aprovechamiento sustentable de recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura. Tulantongo, Texcoco, Estado de México. 334 p.
- García, E., 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Cöppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). 4ª. ed. México. 217 p.
- Guadarrama P., Salinas-Peba L., Chiappa-Carrara X. Ramos-Zapata J. A. 2018. Florística, composición y estructura de las comunidades vegetales de la porción occidental de la Reserva Estatal Ciénegas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89:784-805.
- Graham P. H. and Vance C. P. 2003. Legumes: Importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*. 131(3):872-877.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México) (INEGI). 2017. Anuario estadístico y geografico de Yucatan 2017. Merida, Yucatan, Mexico. 708 p.
- Machado R., Roche R., Toral O. y García E. G. 1992. Metodología para la recolecta, conservación y caracterización de especies herbáceas, arbóreas y arbustivas útiles para la ganadería. *Pastos y Forrajes*. 22(3): 181-204.
- Machado R., Navarro M., Fung C. y Reino J. 2005. Prospección y colecta de leguminosas multipropósito en áreas marginales de tres provincias cubanas. *Pastos y Forrajes*. 28(3):187-197.
- Olivera Y., Machado R. y Fung C. 2008. Colecta de leguminosas en tres provincias orientales de Cuba. *Pastos y Forrajes*. 31(1):25-34.
- Pérez E., Soca M., Díaz L. y Corzo M. 2008. Comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles en Chiapas, México. *Pastos y Forrajes*. 31(2):161-172.
- Pinto-Ruiz R., Gómez H., Martínez B., Hernández A., Medina F. J., Gutiérrez R., Escobar E. y Vázquez. 2005. Árboles y arbustos forrajeros del sur de México. *Pastos y Forrajes*. 28(2):87-98.
- Seth M. K. 2004. Trees and their economic importance. *The Botanical Review*. 69(4):321-376.
- Sosa R. E. E., Pérez R. D., Ortega R. L. y Zapata B. G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Téc. Pecu. Méx.* 42(2):129-144.
- Rico-Gray V., García-Franco J. G., Chemas A., Puch A., and Sima P. 1990. Specie composition, similarity, and structure of Mayan homegardens in Tixpeual and Tixcaltuyub, Yucatan, Mexico. *Economy Botany*. 44(4):470-487. Rodríguez Z., Benavides J., Chávez C. y Sánchez G. 1994. Producción de leche de cabras alimentadas con follaje de madero negro (*Gliricidia sepium*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) y suplementadas con fruto de plátano pelipita (*Musa* sp. cv Pelipita). In: Benavides J. E. (ed.) Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 420 p.

Desarrollo de software de aplicación para la obtención de empleo con oficios temporales en Coatzacoalcos, Veracruz.

M.I. Omar Eduardo Betanzos Martínez¹, M.I. Karla Margarita Castilla Acosta², Alessandro López López³, Lino Pérez Romero, ⁴, Graciela Marina Arguelles Francisco, ⁵.

M.I. Omar Eduardo Betanzos Martínez, es investigador, docente del Ing. en sistemas computacionales del TecNM-Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Veracruz. obetanzos@hotmail.com

²M.I. Karla Margarita Castilla Acosta, es Docente e investigadora de la carrera de Ingeniería Industrial del TecNM- Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Veracruz, Kalycas@hotmail.com.

³Alessandro López López, es del quinto semestre del programa académico de ingeniería en sistemas computacionales del TecNM-Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Veracruz. alessLópez99@gmail.com

⁴Lino Pérez Romero, es del quinto semestre del programa académico de ingeniería en sistemas computacionales del TecNM-Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Veracruz. Linoromero819@gmail.com

⁵Graciela Marina Arguelles Francisco, es del quinto semestre del programa académico de ingeniería en sistemas computacionales del TecNM-Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Veracruz. graciela_arti@hotmail.com

Resumen— Este artículo describe los aspectos importantes del uso de la metodología para el desarrollo de software de aplicación utilizando tecnología para dispositivos móviles, el proyecto está orientado para la obtención de empleo temporales en Coatzacoalcos, Veracruz, , aportando a la sociedad una herramienta más de solución a la problemática del desempleo, la información se recopiló a través del censo de Inegi (2015-2018) de desempleo en los últimos 3 años, es por eso que surge la necesidad de proponer una aplicación de búsqueda de empleos y oficios temporales que ayude a los usuarios a brindar un servicio como carpintería, fontanería, plomería, mecánico entre otros. En la parte de metodología se explica la manera que se desarrolla el proyecto que consta de cinco etapas: etapa de análisis, etapa de diseño, etapa de desarrollo, implementación y por último la etapa de prueba y depuración; como resultado se muestra la interfaz del proyecto y los canales de distribución que se le puede dar y el beneficio que puede aportar a la ciudadanía al implementarse en la ciudad de Coatzacoalcos.

Palabra(s) clave— Empleo, software, servicio.

Abstract— This article describes the important aspects of the use of the methodology for the development of application software using technology for mobile devices, the project is aimed at obtaining temporary employment in Coatzacoalcos, Veracruz, providing society with another tool for solution to The problem of unemployment, the information was collected through the Inegi census (2015-2018) of unemployment in the last 3 years, that is why there is a need to propose a job search and temporary trades application that helps Users to provide a service such as carpentry, plumbing, plumbing, mechanical among others. The methodology part explains the way in which the project is developed, which consists of five stages: analysis stage, design stage, development stage, implementation and finally the test and debugging stage; As a result, the project interface and the distribution channels that can be given are shown

Key words— Employment, software, service.

1. Introducción

Como primer dato, se realizó una investigación del desempleo y las causas que han originado este problema, primero que todo es necesario comprender que la tecnología ha ido avanzando de manera acelerada en los últimos años, esto ha permitido que hoy en día sea posible para las personas contar con dispositivos móviles de tamaño y peso reducido los cuales pueden realizar varias tareas de uso cotidiano, facilitando así las actividades del usuario promedio.

La población desempleada está representada en su mayoría por mexicanos con grados mayores de estudios (media superior o superior). **De cada 100 desocupados al menos 80 presentan un nivel de instrucción** mientras que los 20 restantes no concluyeron sus estudios de secundaria, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) del Inegi. Existe ante la sociedad una cuestión a nivel nacional que es la falta de empleo, muchas personas tienen un oficio de carpintería, fontanería, plomería, mecánico entre otros y que se encuentran actualmente desempleados, según INEGI en 2016 la población desempleada era de 1.8 millones de personas, esto equivale al 3.3% de la población activa mexicana.

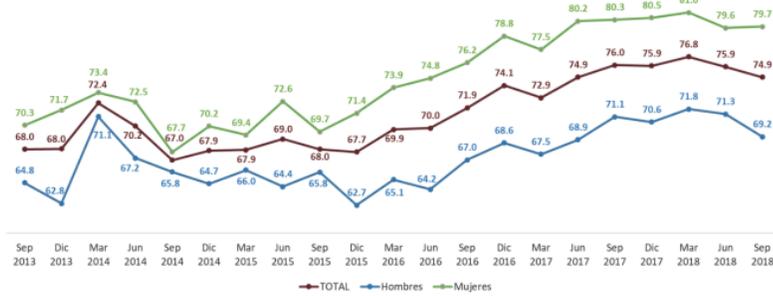


Figura 1: Grafico Estadístico del aumento de desempleo en Coatzacoalcos ver Fuente: INEGI.

Una de las problemáticas que existe y que ha ido en aumento es el desempleo en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz; como se muestra en la figura 1, y aunado al desempleo está la delincuencia, como se muestra en la figura 2, la gráficas que nos proporciona el INEGI nos muestran que desde 2016 la población desempleada es la más propensa a ser la causante de actos delictivos o corruptos como lo pueden ser robos, robos a casas, secuestros, extorsiones, violencia la gráfica nos muestra que los 1.8 millones de personas mexicanas se cree que son los mismos que se muestran.



Figura 2: Grafico Estadístico del aumento de delincuencia en Coatzacoalcos, Ver. Fuente: INEGI.

De acuerdo a la información presentada del desempleo que ha ido en aumento en esta ciudad, hemos tomado el uso de las tecnologías para resolver una pequeña parte de la problemática y aportar a la comunidad una solución temporal en el uso de empleos y oficios temporales. La tecnología ha ido avanzando de manera acelerada en los últimos años, esto ha permitido que hoy en día sea posible contar con dispositivos móviles de tamaño y peso reducido los cuales pueden realizar varias tareas de uso cotidiano, facilitando así las actividades del usuario promedio. Existe una problemática a nivel nacional de que no hay trabajo pero que hay muchas personas que tienen un oficio de carpintería, fontanería, plomería entre otros y que se encuentran actualmente desempleados, según Inegi en 2018 la población desempleada era de 1.8 millones de personas, esto equivale al 3.3% de la población activa mexicana, al ver esta situación se ha desarrollado una aplicación disponible a todo público, ofreciendo una alternativa más, y buscando reducir lo más posible la tasa de desempleo en la ciudad de Coatzacoalcos, Veracruz. Actualmente existe una aplicación similar llamada APLI, es la primera plataforma online en Latinoamérica para conseguir trabajadores eventuales rápidamente. Está diseñada para que los usuarios puedan generar ingresos extra en sus tiempos libres. Todo esto, a través de su dispositivo móvil, con

una contratación inmediata, en cuestión de horas, (Estrada 2016). Sin embargo, como referencia sobre este software de aplicación no existe una comparación exacta con nuestro proyecto.

Para el desarrollo de esta aplicación se ha elegido el entorno de trabajo llamado Android Studio con un alto impacto en el mercado móvil, El cual fue desarrollado por Android Inc. en octubre del 2003 y que actualmente es propiedad de la empresa Google. Android está basado en el núcleo Linux lo cual significa que es un sistema operativo libre, gratuito y multiplataforma.

El Desarrollo de una aplicación de software para dispositivos móviles con sistema operativo Android busca que funcione como un buscador de empleo temporal, solicitado por una persona que requiera el servicio, por ejemplo: una señora ama de casa se le rompió el fregadero y hay que cambiarlo, entonces entra a la aplicación a solicitar un fontanero y cotizar el servicio de reparación, posteriormente selecciona a la persona que ella decida, donde también el empleador también da si acepta o no realizar el trabajo, esta solución del proyecto resuelve una gran parte del problema que vive el país constantemente y de igual manera miles de personas que están siendo afectadas por este problema y que con esta aplicación pueda ser beneficiada por un servicio de oficio o empleo temporal, esta aplicación se pensó por toda la problemática que ha tenido la ciudad de Coatzacoalcos, la disponibilidad de las mejoras tecnológicas, tanto en las redes de los operadores como en los dispositivos móviles, están creando en las personas la demanda del uso de nuevos servicios. Servicios que se basan en estas tecnologías para solucionar problemas específicos en el ámbito empresarial (*m-business*), comercial (*m-commerce*), académico (*m-learning*), de salud (*m-health*) y social (redes sociales como: correo electrónico instantáneo de Blackberry, Facebook, Twitter, MySpace, Skype, entre otros) (Autelsi, 2009).

En la actualidad, la mayoría de los servicios móviles están desarrollados en: HTML 5, WAP, Java 2 Micro Edición (J2ME), C#, Silverlight, .NET, entre otros. También, en aplicaciones nativas para los Sistemas Operativos de los móviles (S.O. del móvil), como: Android, Symbian, iOS y MeeGo.

El desarrollo de aplicaciones para proveer servicios móviles, difiere del desarrollo de software tradicional en muchos aspectos, lo que provoca que las metodologías usadas para estos entornos móviles, también difieran de las del software clásico (Rahimian y Ramsin, 2008).

Las metodologías ágiles para el desarrollo de software, surgieron como una solución inmediata, garantizando la realización de proyectos en corto plazo, las cuales se pueden ajustar a los *Time-to-Market* de los servicios móviles, como es el caso de las metodologías Mobile-D (Kynkäänniemi y Komulainen, 2006), y Rapid7 (Kylmákoski, 2005). Sin embargo, no garantizan el potencial de éxito de estos, éxito que depende en gran parte del conocimiento electrónico y de telecomunicaciones, del entorno específico donde se ejecuta la aplicación (terminales y redes), además de la caracterización del cliente latinoamericano.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de Software de aplicación para dispositivos móviles, ofreciendo a usuarios alternativas de empleos temporales en la ciudad de Coatzacoalcos; siguiendo la metodología para el Desarrollo de Aplicaciones Móviles, MDAM", se selecciona la información adecuada y por último se evalúa la funcionalidad buscando su repetitividad y reproducibilidad.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de este software de aplicación móvil la metodología se fundamenta en la experiencia de investigaciones previas en aplicaciones móviles, la evaluación del potencial de éxito para servicios de tercera generación denominada 6 M, la ingeniería de software educativo con modelado orientado por objetos (ISE-OO), y principalmente en los valores de las metodologías ágiles. De la ISE-OO se hereda el enfoque de los micro-mundos interactivos y la orientación por objetos; los elementos de los micromundos más utilizados en los servicios móviles interactivos son: Mundo, Escenarios, Personajes y Roles, Argumento e Historia, Variables Compensatorias, Variables de Control, Variables de Resultado, Zonas de Comunicación, Ambientación- Caracterización, Recuperación de Estados Anteriores, Manejo de Información del Usuario, Mecanismos para Análisis de Desempeño, Ampliación de las Posibilidades del Micro-mundo, Personalización del Ambiente y, Soporte a la Comunicación en Grupo, entre otros (Gómez, Galvis y Mariño, 1998).

La metodología se encuentra enmarcada en cinco fases el cuál le pondremos como nombre MDA, denominadas: análisis, diseño, desarrollo, pruebas de funcionamiento y entrega como se muestra en figura 3. A continuación se describe cada una de las actividades que intervienen en el desarrollo de la propuesta.

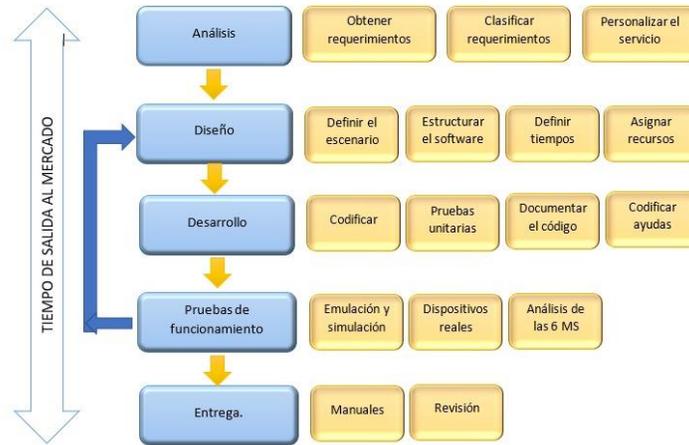


Figura 3: Etapas de la metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles.
Fuente: Elaboración propia

Análisis

En esta fase se analizan las peticiones o requerimientos de las personas o entidad para la cual se desarrolla el servicio móvil "Cliente", el propósito es definir las características del mundo o entorno de la aplicación. Se realizan tres tareas: obtener requerimientos, clasificar los requerimientos y personalizar el servicio.

- Obtener requerimientos: se sugiere hacer una serie de entrevistas al cliente, para que manifieste los síntomas del problema o necesidades que se pretenden solucionar con las tecnologías móviles, o simplemente, para que señale las características que debe tener la aplicación.
- Clasificar los requerimientos: una vez identificados los requerimientos que debe tener el software, se procede a clasificarlos. Dichos requerimientos se pueden clasificar en entorno, mundo, funcionales y no funcionales.

El entorno se refiere a todo lo que rodea al servicio. Por ejemplo, las características técnicas del dispositivo móvil del cliente, el sistema operativo subyacente (móvil y servidores), la tecnología utilizada para la transferencia de información, el Sistema Manejador de Base de Datos, Data Base Management System (DBMS), si se requiere, el formato de archivos y, otros módulos tecnológicos utilizados para el servicio.

El mundo es la forma cómo interactúan el usuario y la aplicación. Aquí se encuentran los requerimientos de la Interfaz Gráfica de Usuario, Graphical User Interface (IGU), la forma en que el software va a generar los datos de salida, el formato de los datos y los demás requerimientos que involucren la comunicación hombre-máquina, considerando la gama tecnológica de los teléfonos móviles de los usuarios a la que va dirigida el servicio.

Los requerimientos funcionales son todos aquellos que demandan una función dentro del sistema. Se deben definir claramente cada una de las tareas que debe realizar la aplicación.

Los requerimientos no funcionales son la estabilidad, la portabilidad, el rendimiento, el tiempo de salida al mercado y, el costo, entre otros.

- Personalizar el servicio: adicionalmente se deben analizar aspectos de la cotidianidad del cliente como preferencias, costumbres y particularidades del usuario, con el propósito de garantizar la aceptación del servicio.

Diseño

El objetivo en esta etapa es plasmar el pensamiento de la solución mediante diagramas o esquemas, considerando la mejor alternativa al integrar aspectos técnicos, funcionales, sociales y económicos. A esta fase se retorna si no se obtiene lo deseado en la etapa prueba de funcionamiento.

Se realizan cuatro actividades en esta fase: definir el escenario, estructurar el software, definir tiempos y asignar recursos.

- Definir el escenario: las aplicaciones móviles se pueden diseñar para ejecutarse en diferentes escenarios, dependiendo del sistema de conexión y sincronización con el servidor o aplicación central; el proceso de sincronización se realiza para insertar, modificar o borrar información. Entre los diferentes escenarios se encuentran los siguientes: 1) desconectado: los procesos se realizan en el dispositivo móvil desconectado, después de terminar el proceso, si se requiere, puede conectarse con una aplicación central mediante el proceso de sincronización. 2) Semiconectado: los procesos pueden ejecutarse en el dispositivo móvil desconectado, pero se requiere establecer conexión en algún momento para terminar el proceso, al sincronizar la información con el servidor o aplicación central. En los escenarios desconectado y semiconectado se recomienda utilizar los protocolos y tecnologías que se ajusten al servicio y capacidades tecnológicas del dispositivo. Algunos son: Media Transfer Protocol (MTP), Near Field Communication (NFC), SlowSync, FastSync, SyncML, entre otros. 3) Conectado: el dispositivo debe estar siempre conectado con la aplicación central o servidor para su correcto funcionamiento, no se almacenan datos o archivos en el móvil, la sincronización se realiza mediante la validación de formularios, usualmente se utiliza el Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol, HTTP).
- Estructurar el software: se deben utilizar algunos diagramas de Modelado de Lenguaje Unificado, Unified Modeling Language (UML), según las necesidades del proyecto, modelando el sistema desde varias perspectivas.
- Se sugiere traducir los requerimientos obtenidos de la etapa anterior en un diagrama que describa en forma objetiva el servicio por implementar. Además, definir un patrón de diseño para flexibilizar, modular y reutilizar lo desarrollado; la selección del patrón de diseño debe estar acorde con el escenario del servicio. Algunos patrones que se ajustan a los escenarios de las aplicaciones móviles son: modelo vista de controlador, diseño de capas, entre otros.
- Definir tiempos: se establecen los plazos para cada una de las actividades restantes, con el objetivo de terminar la aplicación a tiempo para su salida al mercado. Se debe tener en cuenta el diseño computacional del software realizado en la tarea anterior y, las características volátiles y dinámicas de los servicios móviles.
- Asignar recursos: se asignan los recursos para realizar cada actividad y alcanzar los objetivos propuestos, se deben considerar recursos humanos, financieros y tecnológicos. Además, se deben seleccionar las herramientas para el desarrollo de la aplicación móvil.

Desarrollo

El objetivo de esta fase es implementar el diseño en un producto de software. En esta etapa se realizan las siguientes actividades:

- Codificar: se escribe en el lenguaje de programación seleccionado, cada una de las partes definidas en los diagramas realizados en la etapa de diseño.
- Pruebas unitarias: se verifica el funcionamiento de la aplicación. En primer lugar, se comprueba la correcta operación de cada elemento desarrollado -objeto, clase, actividad, documento, entre otros- en forma individual; posteriormente, se pone en funcionamiento el conjunto de elementos, comprobando la interrelación entre ellos. Se ejecuta y se observan los resultados obtenidos, para compararlos con los esperados.
- Documentar el código: a medida que se codifica y se prueba cada elemento, se redacta la pequeña documentación sobre lo desarrollado.
- Codificar ayudas: además del manual de instalación y de usuario, deben existir una serie de ayudas que informen de manera didáctica lo que puede hacer el usuario con la aplicación, estas ayudas deben ser codificadas en el mismo lenguaje de programación e integrada en la interfaz de aplicación para visualizarlas en el móvil.

Pruebas de funcionamiento

El objetivo de esta fase es verificar el funcionamiento de la aplicación en diferentes escenarios y condiciones; para esto se realizan las siguientes tareas:

- Emulación y simulación: se realizan pruebas simulando el escenario y emulando el dispositivo móvil, explorando todas las utilidades y funciones de la aplicación, introduciendo diferentes datos, inclusive erróneos, para medir la funcionalidad y el nivel de robustez del software. Si se encuentran algunas fallas, se debe regresar a la etapa de codificación en la fase de desarrollo para solucionar los problemas, si las pruebas son satisfactorias se procede a la etapa de pruebas con dispositivos reales.
- Dispositivos reales: deben hacerse pruebas de campo en equipos reales para medir el desempeño y el rendimiento del aplicativo. Si se encuentran fallas en el tiempo de ejecución, si el software no cumple con los requerimientos especificados, o si el cliente solicita un cambio de última hora, hay que regresar a la fase de diseño para reestructurar y solucionar el inconveniente presentado.
- Análisis de las 6 M's: para valorar el potencial de éxito del servicio, se sugiere buscar un grupo de expertos en el campo del desarrollo móvil para que utilicen el método de evaluación de las 6 M's, y califiquen la presencia de los seis atributos en la aplicación desarrollada.
- Cualquier servicio que brinde un gran valor en cualquiera de las 6 M's tiene un buen potencial para el éxito como servicio móvil. Si la evaluación de las 6 M's del servicio es insatisfactoria, se debe rediseñar el servicio fortaleciendo los atributos mencionados.

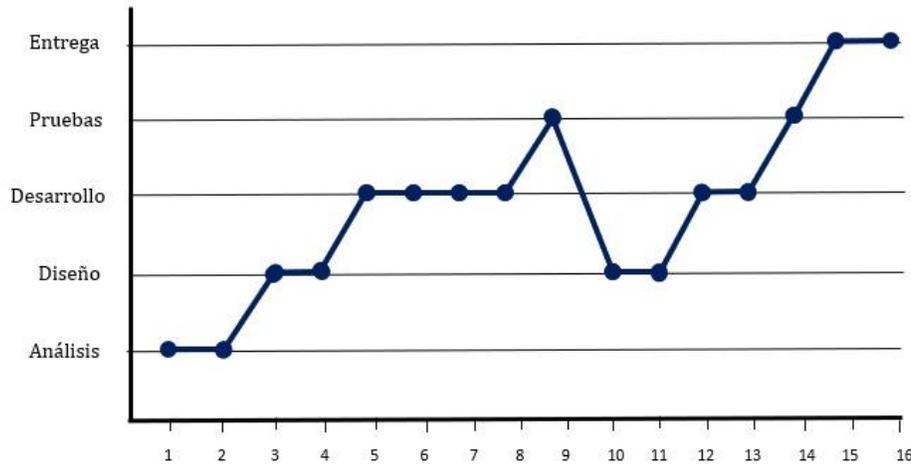
Entrega

Terminada la depuración de la aplicación y atendidos todos los requerimientos de última hora del cliente se da por finalizada la aplicación y se procede a la entrega del ejecutable, el código fuente, la documentación y el manual del sistema. Manuales: el objetivo es el entrenamiento; una aplicación móvil debe constar de un manual del sistema donde se indique el proceso de instalación, la atención a posibles fallas en el tiempo de ejecución y, las especificaciones técnicas mínimas de hardware y software que requiere el equipo, para el funcionamiento adecuado del aplicativo desarrollado. Distribución: se define el canal de comercialización de la aplicación, con el propósito de adecuar la aplicación al medio de distribución. A continuación, se mencionan algunos de los canales de distribución existentes. Las tiendas físicas u outlets, especializadas o no, corresponden a las tiendas que venden dispositivos y servicios de telecomunicaciones, normalmente operadores o marcas como Apple. Los portales de operadores o desarrolladores de servicios, ofrecen un catálogo amplio de aplicaciones y ventas vía Web Site desde el PC, que luego son instaladas en el móvil. Las Applications Stores, ó Play Store son las tiendas online de los fabricantes de dispositivos o de sistemas operativos.

3. Resultados

Con el uso de la metodología para desarrollo móvil, se generó un programa llamado Empleatemp.APK, que ofrece a usuarios de Coatzacoalcos, alternativas de empleos temporales se obtiene un archivo con extensión .apk que corresponde a una Aplicación de Android Application Package File (APK) el cual concentra todos los archivos necesarios para ejecutar la aplicación y sus funciones. Se desarrolló considerando las tecnologías presentes en un tiempo aproximadamente de cuatro meses, obteniendo una evaluación satisfactoria por parte de los desarrolladores del servicio son: Alessandro López López, Graciela Marina Arguelles y Lino Pérez Romero estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales y los docentes Karla Margarita Castilla Acosta y Omar Eduardo Betanzos Martínez. En la Figura 4 se muestra la dedicación del tiempo en el desarrollo.

Figura 4: Tiempo de ejecución en el desarrollo



Fuente: Elaboración propia

Se evaluó su funcionalidad, en la cual, tuvimos un resultado delimitado, ya que para poder ser distribuido se requiere ciertos permisos sobre seguridad, en la parte de usuario registrado para ofrecer servicio la delimitación encontrada para implementarse son: la personas debe de estar certificada ante un organismo público, como CONOCER, SNE, STPS, y en esta parte todavía se está depurando y buscando soluciones alternas por lo que hasta ahora tenemos un resultado de un 90% del proyecto terminado. En la parte de instalación el archivo es el estándar oficial para aplicaciones en Android y se puede instalar de una manera rápida y sencilla en cualquier dispositivo que cuente con una versión compatible de este sistema operativo. Los permisos del terminal requeridos por la aplicación son los siguientes:

- Almacenamiento externo: modificar/eliminar el contenido de la tarjeta SD.
- Almacenamiento interno: probar acceso a almacenamiento protegido.

En las siguientes figuras se muestra algunas pantallas del software de aplicación desarrollado.

En esta **figura 5** muestra la Bienvenida y el modo de ingreso al proyecto, en la **figura 6** Muestra la forma sesión con que va iniciar a la aplicación en la **figura 7** Selecciona el servicio a contratar, la **figura 8** entrando en modo usuario Solicita el servicio a contratar



Figura 5



Figura 6



Figura 7



Figura 8

4. Conclusiones

Las aplicaciones móviles deben considerar las características del entorno de ejecución de la aplicación que dispone el teléfono, para garantizar el correcto funcionamiento de la misma.

Las aplicaciones móviles pueden ayudar a solventar los problemas de tipo particular o general de la sociedad, debido a sus características de movilidad y ubicuidad.

Los entornos integrados de desarrollo (IDE) facilitan la elaboración de aplicaciones móviles, porque ofrecen herramientas de edición, compilación, depuración, análisis y ejecución en una misma interfaz, mejorando los tiempos de ejecución de las etapas de diseño, desarrollo y pruebas, de la metodología propuesta.

En este artículo se describió la necesidad del desarrollo de una aplicación que busca reducir la tasa de desempleo que existe en la ciudad de Coatzacoalcos, muchas personas que no tienen trabajo estable pueden ofrecer su servicio con esta aplicación.

Esto es uno de nuestros proyectos a implementar en nuestra sociedad mexicana, primeramente, por regiones, ciudades, municipios, estados y países que es lo esperado, llegar a todo el mundo con este servicio y cada vez sean más las personas beneficiadas y sea menos la cantidad de desempleados.

5. Referencias

Las referencias bibliográficas utilizarán el formato APA en su sexta edición. Los autores solo deben incluir las referencias bibliográficas que han sido referidas en el cuerpo del artículo.

- Autelsi, Asociación española de usuarios de telecomunicaciones y de la sociedad de la información (2009). *Modelos de negocios en dispositivos y aplicaciones móviles*. Recuperado de <http://www.autelsi.es/cms/autel/images/socios/aplicmov.pdf>.
- Estrada, Jorge (2016) Red Forbes. Recuperado <https://www.forbes.com.mx/esta-app-quiere-darte-trabajo-tiempo-libre/>
- Gómez, R., Galvis, A. y Mariño, O. (1998). Ingeniería de software educativo con modelaje orientado por objetos: un medio para desarrollar micromundos interactivos. *Informática Educativa UNIANDES - LIDIE*, 11 (1), 9-30.
- Inegi(2018) Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía <https://www.inegi.org.mx/>
- Kylmäkoski, R. (2005). RaPiD7: A Collaborative Method for the Planning Activities in Software Engineering - Industrial Experiment. Recuperado de Information Technology for European Advancement: <http://www.agile-itea.org/public/papers/RaPiD7.pdf>.
- Kynkäänniemi, T. & Komulainen, K. (2006). Agile Documentation in Mobile-D Projects (Agile Deliverable D.2.10). Recuperado de Information Technology for European Advancement: http://www.agile-itea.org/public/deliverables/ITEA-AGILE-D2.10_v1.O.pdf.
- Rahimian, V. & Ramsin, R. (2008, 6 de junio). Designing and agile methodology for mobile software development: a hybrid ethod engineering approach. Second International Conference on Research Challenges in Information Science. Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4632123&punumber%3D4620134%26sortType%3Dasc_p_Sequence%26filter%3DAND%28p_IS_Number%3A4632084%29%26pageNumber%3D2.

Diseño mecánico de un prototipo compensador de temperatura para bolsa de solución dializante

MII. Israel Robles Hernández¹, M.C.E. Isabel Lagunes Gómez^{2*}, M.A.I. Saúl Santiago Cruz³, IMM. Ana María Pérez Maldonado⁴.

¹Israel Robles Hernández es Ingeniero Mecánico electricista, MII. y profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-8273-6155>. E-mail: israelrobles2013@gmail.com

²Isabel Lagunes Gómez, Maestra en Ciencias de la Educación, y profesora de Tiempo Completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Alvarado, Veracruz. ilagunes@msev.gob.mx. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4631-4385>. *Autor de correspondencia.

³Saúl Santiago Cruz, es Ingeniero Civil, Maestro en Administración Industrial, y profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-mail: ssantiagoc@itsm.edu.mx

⁴Ana María Pérez Maldonado es Ingeniera en Metalurgia y Materiales y profesora de Tiempo Completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Alvarado, Veracruz. E-mail: anamaria.perez.maldonado87@gmail.com

Resumen— Como producto de la aplicación de la metodología de principios para innovación TRIZ en la reducción de las molestias ocasionadas al paciente en el tratamiento de la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) por Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua (DPAC), por el suministro de líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal; se presenta un prototipo de Dispositivo Médico (DM) Activo Terapéutico de uso pasajero, que transforma la corriente eléctrica en energía térmica y realiza la conducción controlada de calor al líquido dializante. Con base en los resultados de las pruebas realizadas en laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo, se concluye que el DM permite la manipulación de la temperatura a 36 °C con variación de ± 1 °C; y con base en los resultados de las pruebas de viscosidad, se concluye que posibilita la provisión continua del fluido dializante por diferencial de altura. Estos resultados sitúan al prototipo en un Nivel de Madurez Tecnológica (TRL'S) validación de concepto (nivel 4) y en etapa de revisión de la aprobación premercado (PMA) pre-evaluación.

Palabra(s) clave— Compensador de temperatura, Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua, Dispositivo médico portátil.

Abstract— The mechanical design of a prototype Active Medical Device (DM) for passenger use is presented, which transforms the electric current into thermal energy and conducts controlled heat conduction to the dialysate used in the treatment of Chronic Renal Insufficiency (CRI) by Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis (DPAC). Based on the results of laboratory tests, monitoring the outlet temperature of the dialysate fluid contrasted with the working temperature, it is concluded that it allows the temperature to be manipulated at 36 °C with a variation of ± 1 °C. based on the results of the viscosity doors, it is concluded that it enables the continuous provision of the dialysate fluid by height differential. These results place the prototype in a Technological Maturity Level (TRL'S) concept validation (level 4) and in the pre-market approval (PMA) pre-evaluation approval stage.

Key words— Temperature device, Continuous Ambulatory Peritoneal Dialysis, Portable medic device.

1. Introducción

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) es un serio problema de salud pública (Soriano Cabrera, 2004; Tamayo y Orozco & Quirós Lastiri, 2016) que ha alcanzado proporciones epidémicas en centroamérica (Hoy & Ordunez, 2017), y figura entre las diez principales causas de muerte en México (INEGI, 2018), cuyos altos costos de tratamiento, junto con el incremento en la cantidad de pacientes diagnosticados comprometen la capacidad de respuesta del sistema de salud (López Cervantes, 2010). Se define como una disminución de la función renal, expresada por un filtrado glomerular (FG) o por un aclaramiento de creatinina estimados < 60 ml/min/1,73 m², o como la presencia de daño renal de forma persistente durante al menos 3 meses (Soriano Cabrera, 2004). En su manifestación más avanzada, la Insuficiencia Renal Crónica (IRC) (Soriano Cabrera, 2004), el paciente requiere Terapia de Reemplazo de la función Renal (TRR) para poder vivir (Venado Estrada, Moreno López, Rodríguez Alvarado, & López Cervantes, s/f). Actualmente, se emplean 3 modalidades de TRR: hemodiálisis, diálisis peritoneal (DP), y el trasplante renal (Hoy & Ordunez, 2017).

En su atención en México, históricamente ha predominado la modalidad de TRR por DP (Amato Martínez, 2016), siendo la Diálisis Peritoneal Ambulatoria Continua (DPAC) y la Diálisis Peritoneal Automatizada o Ciclada (DPA) las más usadas. La DP consiste en el procedimiento terapéutico especializado que utiliza como

principio físico-químico la difusión pasiva del agua y solutos de la sangre a través de la membrana peritoneal (NOM-003-SSA3-2010), la solución se infunde en la cavidad peritoneal, donde se produce el intercambio de electrolitos por difusión y convección, y se elimina el exceso de líquidos por ósmosis, mediante la membrana peritoneal como membrana osmótica. En la DPAC, el paciente realiza la diálisis manualmente varias veces al día, y en la DPA, una máquina realiza la diálisis durante la noche (OMS, 2004).

En el tratamiento de IRC por DPAC se observan molestias ocasionadas por el suministro del líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal en el tratamiento de IRC por DPAC. Se identificaron diferentes formas de elevar la temperatura del líquido dializante que se suministra al paciente, a fin de reducir las molestias por dolor: por un lado, algunas recomendadas, pero con alto costo de adquisición y operación, como el uso de planchas y equipos más sofisticados a base de bandejas calefactoras; por otro, algunas no recomendadas, por entre otros factores el elevado riesgo de sobrecalentamiento local, como el uso de microondas y baños María. Al respecto, nos propusimos como objetivo desarrollar un dispositivo médico de bajo costo y fácil operación, que posee como ventajas técnicas frente a estas opciones: menores costos de operación, mayor autonomía del paciente, y manipulación controlada de la temperatura en un rango de 10 a 40 °C, con variación de ± 1 °C.

De modo tal que en este trabajo se presentan el proceso y los resultados de la aplicación de la metodología de principios para innovación TRIZ (Reyes, 2004) para la solución del problema técnico identificado: elevar la temperatura del líquido dializante a niveles similares a la temperatura corporal, y mantenerla constante sin que este proceso altere la composición química del fluido.

2. Desarrollo

Fundamentación teórica

Para resolver del problema técnico antes mencionado, aplicamos los principios de la metodología TRIZ para desarrollar una solución técnica. En los requerimientos se consideró indispensable, además, que esta fuera portable, de control automatizado, de bajo costo, de operación sencilla, segura, resistente a impactos, con necesidades de mantenimiento básico, y de larga vida útil. Tomando como base todas estas estipulaciones y la conformidad con los parámetros de calidad definidos por el marco normativo, se diseñó un prototipo al que se realizaron pruebas de monitoreo de temperatura contra la temperatura de trabajo y de viscosidad, y, con base en los resultados se realizaron ajustes.

Por su parte, las tecnologías sanitarias o tecnologías en salud se refieren a la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos estructurados en forma de dispositivos, medicamentos, vacunas, procedimientos y sistemas elaborados para resolver problemas sanitarios y mejorar la calidad de vida (CENETEC-Salud, 2017). Según la NOM-137-SSA1-2008, Etiquetado de dispositivos médicos, los dispositivos médicos se utilizan para prevenir, diagnosticar o monitorear enfermedades en humanos, como auxiliares en el tratamiento de las mismas y de la discapacidad, así como en el reemplazo, corrección, restauración o modificación de la anatomía o procesos fisiológicos humanos. Incluyen los productos de las siguientes categorías: equipo médico, prótesis, órtesis, ayudas funcionales, agentes de diagnóstico, insumos de uso odontológico, materiales quirúrgicos y de curación y productos higiénicos (DOF, 2008).

El prototipo desarrollado se define una aplicación de la termodinámica y la transferencia de calor en el área médica. El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), y se puede definir como la ciencia de la energía (Çengel & Boles, 2012). La transferencia de calor se define como la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía entre cuerpos materiales, producto de una diferencia de temperatura, y pretende no sólo explicar cómo la energía térmica puede ser transferida, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia (Holman, 1998). A decir de Çengel y Boles (2012), la temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. Cuando colisionan dos moléculas que poseen energías cinéticas distintas, parte de esta energía proveniente de la molécula más energética (mayor temperatura) se transfiere a la de menor energía (menor temperatura) (Çengel & Boles, 2012). En otras palabras, la energía se puede transferir mediante interacciones de un sistema con su alrededor (Incropera & De Witt, 1999).

Se conocen tres modos de transferir calor: conducción, convección y radiación (Çengel & Boles, 2012; Holman, 1998). Todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura y todos pasan del ámbito de alta temperatura a uno de menor temperatura (Çengel & Boles, 2012). La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones, y puede ocurrir en sólidos, líquidos o gases (Çengel & Boles, 2012).

Por otra parte, en el estado de la técnica, se llama compensador de temperatura a un sistema de ingeniería que intercambia calor, de un material de alta temperatura a otro de menor temperatura. En nuestro caso, el fenómeno físico que utilizaremos para que el líquido deslizando eleve su temperatura se conoce como

transferencia de calor por conducción y se realiza transformando energía eléctrica en energía térmica de manera controlada, con el uso de resistencias eléctricas y de controladores eléctricos.

Método.

Para determinar las características del prototipo aplicamos los principios de la metodología TRIZ (Reyes, 2004), modelo de solución de un problema, agrupando sus 40 pasos en 5 etapas:

1) *Identificación del problema y análisis requerimientos normativos para su solución.* El problema técnico identificado son las molestias ocasionadas por el suministro del líquido dializante a temperaturas por debajo de la corporal a pacientes en tratamiento de Enfermedad Renal Crónica (ERC) por DPAC. Como marco normativo se identificaron: Ley General de Salud (última reforma DOF 24-12-2018) y Reglamento de Insumos para la Salud (última reforma DOF 14-03-2014), la NOM-137-SSA1-2008 Etiquetado de dispositivos médicos, la NOM-240-SSA1-2012 Instalación y operación de la tecnovigilancia, y la NOM-241-SSA1-2012 Buenas prácticas de fabricación para establecimientos dedicados a la fabricación de dispositivos médicos y su adición de los puntos 10.1.14, 10.1.15 y 22.

Según el artículo 82 del Reglamento de Insumos para la salud, la fabricación, distribución, comercialización o uso de dispositivos médicos en México, requiere contar con Registro Sanitario. Este, consiste en un permiso otorgado por el Gobierno Federal, una vez que el dispositivo demuestra con evidencias documentadas ser seguro, eficaz y de calidad. A partir de 2005, estos registros cuentan con vigencia renovable de 5 años que puede revocarse o revisarse de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Salud, y el Reglamento. (COFEPRIS, 2016)

2) *Estudio comparativo de máquinas con patentes de funcionamiento similar para confirmar la mejora.* Actualmente, se conocen 3 equipos médicos autorizados en el Cuadro Básico y Catálogo de Instrumental y Equipo Médico (Tomo I, II y su Anexo Sets Quirúrgicos) con nombres genéricos: equipo portátil de diálisis peritoneal automatizada para uso pediátrico y adulto (clave 531.829.0599), máquina cicladora automática de ocho espigas (clave 531.296.0122) y sistema automatizado para diálisis peritoneal de once espigas (clave 531.296.0130) (DOF, 2019). Los dos sistemas no portátiles se encuentran diseñados para atender a más de un paciente de forma simultánea y trabajar con un mínimo de 8 bolsas. Debido a su alto costo de adquisición y operación, estos equipos se utilizan fundamentalmente en hospitales.

Además, se conoce una bolsa de solución de diálisis peritoneal auto-calentable en proceso de patente en México, solicitada por Fresenius Medical Care Holdings. La bolsa puede tener un parche de calentamiento, no eléctrico, adherido o fijado a la superficie externa. El parche de calentamiento, no eléctrico, puede incluir un agente activable que experimenta una reacción exotérmica cuando se activa para generar suficiente calor, tras la activación, para calentar los contenidos de la bolsa a al menos 35°C (95°F). También se conocen parches de calentamiento no eléctrico que están separados de la bolsa de solución para diálisis peritoneal (Patent Núm. WO/2015/020828, 2015).

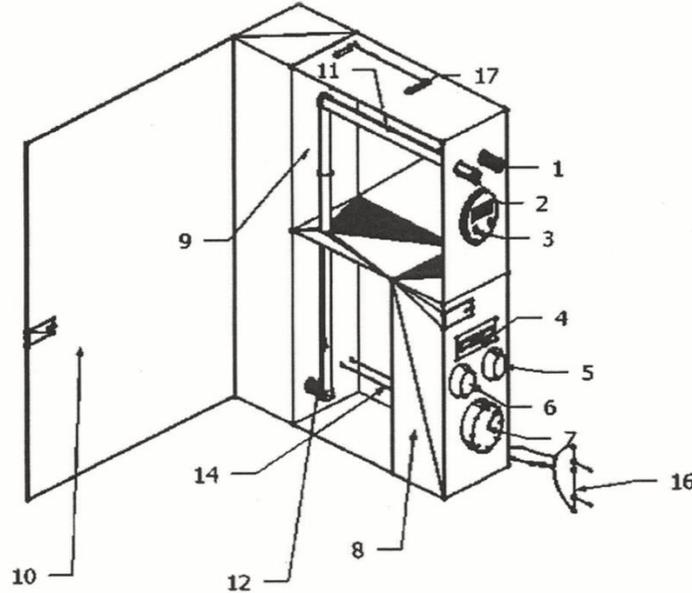
3) *Identificación de las fortalezas, oportunidades, debilidades, y amenazas de los equipos de mayor uso en el sector salud.* En este ejercicio, se establecieron como requerimientos de diseño: la capacidad de elevar la temperatura de la solución dializante a niveles similares a la temperatura corporal, sin que este proceso altere la composición química del fluido, además, se consideró indispensable que la solución técnica, a diferencia de los equipos de mayor uso, fuera portable, de control automatizado, de bajo costo, de operación sencilla, segura, resistente a impactos, con necesidades de mantenimiento básico, y de larga vida útil.

4) *Construcción de prototipo y descripción del funcionamiento.* Tomando como base los prerequisites antes expuestos se diseñó un prototipo obteniendo las condiciones que se presentan sobre la base de las figuras 1, 2 y 3. De acuerdo al número de referencia asignado a cada una de las partes, a continuación, detallamos el funcionamiento del prototipo compensador de temperatura.

En la figura 1 se muestra una vista isométrica del sistema de compensación de temperatura, utilizado para elevar grados centígrados al líquido dializante. En su exterior, comprende un gabinete protector (17) de lámina calibre 25, preferentemente en forma de prisma rectangular que recubre el sistema de compensación de temperatura para bolsas de solución dializante y da soporte al resto de sus partes constitutivas. Puede incluir un dispositivo de sujeción para traslado y un dispositivo que asegure el cerrado de la tapa. Colocados en cantiléver en el gabinete se encuentran los elementos estructurales que a continuación se detallan: conexión del fluido (dializante) entrada (1), conexión de fluido (dializante) salida (2), indicador de temperatura de líquido dializante (3), interruptor ON-OFF (4), foco indicador encendido (5), foco indicador de temperatura (6), control de temperatura variable 0-10-40 °C (7), protector térmico y control eléctrico (8), cámara térmica o compensador

de temperatura (9), puerta de acceso (10), entrada de líquido a cámara térmica (11), salida de líquido de cámara térmica (12), terminales eléctricas del elemento (14), coraza aisladora térmica (15), cable de alimentación eléctrica y clavija (16), y gabinete protector (17).

Figura 1: Vista isométrica del sistema de compensación de la temperatura

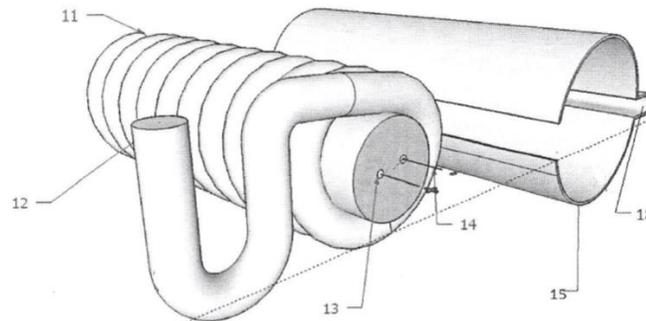


Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se muestra una vista isométrica del interior de la cámara térmica de forma cilíndrica, tipo cartucho, donde se observan: entrada de líquido a cámara térmica (11), salida de líquido de cámara térmica (12), elemento térmico tipo cartucho (13) -que comprende una resistencia eléctrica a 120V recubierta internamente con oxido de magnesio de propiedades térmicas y envuelta por un tubo de acero inoxidable de grado quirúrgico que se enrolla en espiral-, terminales eléctricos del elemento (14), aislador térmico (15) -que evita la pérdida de temperatura, mantiene el cuerpo térmico a temperatura de trabajo, y evita la transferencia al resto de los componentes-, y sensor de temperatura (18).

El funcionamiento de este cuerpo térmico se manipula mediante el control de temperatura (7) (ver imagen 1), y para su protección está contenido por una cubierta de la cámara térmica (9).

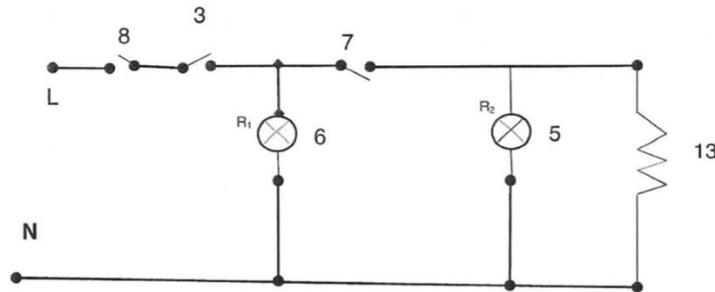
Figura 2: Vista isométrica de la cámara térmica



Fuente: Elaboración propia

La figura 3, muestra el diagrama eléctrico de control del compensador de temperatura. Comprende las siguientes partes: indicador de temperatura de líquido dializante (3), interruptor ON-OFF (4), foco indicador de ON-OFF (5), foco indicador de temperatura (6), control de temperatura variable 0-10-40 °C (7), protector térmico y control eléctrico (8), y elemento térmico tipo cartucho (13).

Figura 3: Diagrama eléctrico de control



Fuente: Elaboración propia

La energía eléctrica se utiliza de dos maneras: una para encender la máquina y automatizarla, y otra para transformarla en energía calorífica.

En su operación, el prototipo permite la entrada de fluido dializante por medio de la conexión de los conductos de la bolsa contenedora al conector (1). Una vez ingresado, permite su tránsito por un tubo de acero, con extremos de entrada (11) y salida (12), que envuelve en forma de espiral al compensador de temperatura (cuerpo térmico) (13). Por conducción de calor, el compensador (13) transfiere temperatura al tubo donde fluye el líquido dializante, que al final se transmite al paciente a temperatura aproximada de 36° C, o a la seleccionada en el termostato. El control (7) tiene la función de graduar la temperatura de salida, dicho de otro modo, al aumentar la temperatura de salida el control apagará la resistencia eléctrica para que la temperatura no se eleve, o por el contrario si esta temperatura disminuye, la resistencia continuará trabajando para que la temperatura de la solución no se disminuya, y de esta forma permanezca constante.

Por su parte, el mecanismo de control permite manipular la temperatura del líquido dializante empleado en el procedimiento de DPAC, en un rango de 10 a 40 °C, con variación de $\pm 1^\circ\text{C}$. Actúa directamente sobre el cuerpo térmico tipo cartucho (13), regulándolo por medio de sistemas automatizados de control de temperatura (7) -relevador electrónico, estado sólido, 90-280V. 50/60 hz- y de un sensor de temperatura (18) -modelo TU 16-5 amperes y 120-250V con capilar bulbo largo y resistencia eléctrica de 120V-. Además, el equipo tiene una pantalla digital que muestra la temperatura de salida del líquido dializante, garantizando la temperatura a la que se suministra al paciente.

5) *Evaluación y ajustes.* En esta fase se realizaron pruebas de laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo y pruebas de viscosidad, para garantizar el funcionamiento del equipo y el análisis de la cámara térmica que se presenta en el apartado de resultados. Con base en los resultados se realizaron ajustes, dando como resultado el prototipo en las condiciones que se reportan.

3. Resultados

El diseño propuesto permite contar con un dispositivo ergonómico de fácil transportación, de dimensiones: 210 X 290 X 7 mm y de peso 3 kg. La selección de materiales propuestos permite, además: un uso a bajo costo, que no requiere personal con alta calificación técnica para operarlo, resistencia a impactos propios del uso normal, necesidades de mantenimiento mínimas y una vida útil larga. Además, el sistema de control eléctrico y las condiciones de aislamiento de la cámara térmica garantizan que su operación sea controlada y segura.

Las pruebas realizadas comprobaron que el prototipo es capaz de mantener constante la temperatura del líquido dializador empleado en el procedimiento de la DPAC, y de controlarla para mantenerla en los niveles de temperatura corporal, evitando variaciones por interacción con la temperatura ambiente; condiciones que disminuyen las molestias corporales asociadas a este procedimiento, así como la excesiva manipulación de catéteres por reemplazo de bolsas de líquido dializante.

Análisis de la cámara térmica

A continuación, se muestra la evaluación de funcionamiento de la cámara térmica, suponiendo una temperatura de trabajo de 36° C y los datos de operación contenidos en la tabla 1.

Tabla 1: Datos de operación del prototipo

Temperaturas:	Propiedades del tubo de acero inoxidable:
$T_{entrada} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	Cr=18%, Ni= 8%, K=16.3
$T_{salida} = 36^{\circ}$	$\Phi_{interior} = 0.9525\text{ cm}$ $\Phi_{exterior} = 1.27\text{ cm}$
	K= 16.3 W/m-°C

Fuente: Propiedades de los no metales (Holman, 1998)

Se considera el intercambiador de calor como un sistema radial de transferencia de calor por conducción, (convección y radiación no se consideran para efectos de la operación del prototipo ya que su transferencia es nula). Por lo tanto, la transferencia de calor que se obtiene del calefactor por unidad de longitud es:

$$\frac{q}{l} = \frac{4\pi k(T_{salida} - T_{entrada})}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_e}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Aplicando los valores en la ecuación, tenemos:

$$\frac{q}{l} = \frac{4 \pi 16.3 (36^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}{\frac{1}{0.009525} - \frac{1}{0.0127}}$$

$$\frac{q}{l} = 85.86.62\text{ W/m}$$

Considerando el espesor crítico de transferencia de calor del prototipo calefactor se consideró conveniente emplear un aislante de lana mineral envolviendo todo el calefactor para evitar fuga de temperatura a sus alrededores. De esta manera, la cámara térmica se utiliza sin riesgo de dañar la máquina, a su operario o al paciente. Según las propiedades de la lana mineral de 160.18 kg/cm², sometida a una temperatura de trabajo de 32 °C, y considerando que cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de k= 0.040 W/m°C; se requieren 5 cm. aproximados de radio de resistencia.

Al no disponer de datos específicos de factor de suciedad de solución dializante, debido a su contenido de sales, se toma como referencia el agua de mar, con un valor de 9x10⁻⁵ m² * °C/W (Holman, 1998) (ver figura 4); lo que significa que aunque este fenómeno no afecta el rendimiento de la máquina, considerando 6 a 8 diálisis por día, en el manual de uso se considera la limpieza interna de la tubería con fines de mantenimiento preventivo.

Figura 4: Factores de suciedad comunes

TABLA 10.2
Tabla de factores de suciedad comunes, según la Referencia 2.

Tipo de fluido	Factor de suciedad, h · ft ² · °F/Btu	m ² · °C/W
Agua de mar, por debajo de 51,7 °C	0,0005	0,00009
Por encima de 51,7 °C	0,001	0,002
Agua de alimentación de caldera tratada, por encima de 51,7 °C	0,001	0,0002
Fuel oil	0,005	0,0009
Aceite de templar	0,004	0,0007
Vapores de alcohol	0,0005	0,00009
Vapor de agua, libre de aceite	0,0005	0,00009
Aire industrial	0,002	0,0004
Líquido refrigerante	0,001	0,0002

Fuente: Tabla de factores de suciedad comunes (Holman, 1998)

Por su relevancia en relación a trabajos previos relacionados con la solución del problema técnico, el prototipo cuenta con una solicitud de patente esperando su publicación en gaceta oficial, expediente MX/a/2018/012071, de la cual es solicitante el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado.

4. Conclusiones

El prototipo propuesto es un Dispositivo Médico (DM) Activo Terapéutico de uso pasajero (CENETEC-Salud, 2017), sistema de ingeniería perteneciente al campo de la termodinámica que transforma corriente eléctrica en energía térmica y realiza la conducción controlada de calor al líquido dializante empleado en el tratamiento de la IRC por DPAC. De acuerdo a su categoría de uso, es un Equipo Médico, que de acuerdo al riesgo sanitario es de Clase I.

Con base en los resultados de las pruebas de laboratorio, de monitoreo de temperatura de salida del fluido dializante contrastada con la temperatura de trabajo, se concluye que el DM permite la manipulación de la temperatura a 36 °C con variación de ±1°C; y con base en los resultados de las pruebas de viscosidad, se concluye que posibilita la provisión continua del fluido dializante por diferencial de altura.

Una vez evaluada en laboratorio, se ha comprobado que la invención puede ser portátil y es capaz de solucionar el problema técnico identificado, y que posee además las siguientes ventajas respecto al resto de las soluciones conocidas: que promueve la autonomía de los pacientes, pues se pueden realizar la DPAC en su hogar, lo que conlleva un ahorro financiero por traslado, y reduce su dependencia de los familiares. Factores que en su conjunto mejoran la calidad de vida del paciente.

Respecto a su nivel de desarrollo, se puede definir como una tecnología con componentes de alta confiabilidad que se sitúa en un Nivel de Madurez Tecnológica (TRL'S) validación de concepto (nivel 4). Como parte del trabajo futuro, el dispositivo médico compensador de temperatura para bolsa de solución dializante se validará en laboratorio en condiciones que simulan un entorno real, para que posteriormente se pueda demostrar en un ambiente relevante, considerando todos los aspectos de manufacturabilidad, pruebas de usuarios a baja escala, y diseño de instalaciones de planta de manufactura. Realizadas estas etapas se gestionará la solicitud de Registro Sanitario de dispositivos médicos para productos de fabricación nacional ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). Una vez que la solicitud de protección de propiedad intelectual sea publicada en la gaceta y que cuente con el registro sanitario, el prototipo se encontrará en posibilidades de generar acuerdos de licencia para proporcionar autorización a terceros para utilizar dichos derechos a cambio de un pago convenido (tasa o regalía), incluido el sistema público de salud, o empresas comercializadoras de productos médicos. De igual forma, nos encontraremos también en condiciones de poder realizar su venta directa público en general.

5. Referencias

Amato Martínez, J. D. (2016). Grandes retos de la enfermedad renal crónica en México. En *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla*. Recuperado de https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/ENF-RENAL.pdf
 Barone, J., Conlon, A., Barron, J., & Niesslein, M. (2015). *Patent Núm. WO/2015/020828*. Recuperado de

- <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=WO2015020828>
 CENETEC-Salud. (2017). *Guía para la Evaluación Clínica de Dispositivos Médicos*. Recuperado de <http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/detes/>
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *TERMODINÁMICA* (7a. edición). México, D. F. Dirección de Atención a Medios/Dirección General Adjunta de Comunicación. (2018). *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 525/18* (Comunicado de Prensa y Nota Técnica Núm. 525/18). Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/EstSociodemo/DEFUNCIONES2017.pdf>
- DOF. (2008, agosto 3). NORMA Oficial Mexicana NOM-137-SSA1-2008, Etiquetado de dispositivos médicos. Recuperado el 24 de octubre de 2019, de http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3570/SALUD13_C/SALUD13_C.htm
- DOF. Edición 2018 del Cuadro Básico y Catálogo de Instrumental y Equipo Médico (Tomo I, II y su Anexo Sets Quirúrgicos). , Diario Oficial de la Federación § (2019).
- Holman, J. P. (1998). *Transferencia de calor* (8a. Edición (1a. en español)). Madrid: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.U.
- Hoy, W., & Ordunez, P. (Eds.). (2017). *Epidemia de enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica. Definición de casos, base metodológica y enfoques para la vigilancia de salud pública*. Recuperado de <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/34157>
- Incropera, F., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4a. Edición). Recuperado de https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/INCROPERA_-_Transferencia_de_calor.pdf
- López Cervantes, M. (Ed.). (2010). *Enfermedad renal crónica y su atención mediante tratamiento sustitutivo en México* (Primera edición). Recuperado de http://www.dged.salud.gob.mx/contenidos/dess/descargas/estudios_especiales/ERC_AMTSM.pdf
- OMS. (2004). Formulario Modelo de la OMS 2004. Recuperado el 11 de junio de 2019, de <https://apps.who.int/medicinedocs/es/d/Js5422s/27.html#Js5422s.27.1>
- Reyes, P. (2004, abril 18). *Método TRIZ*. Recuperado de <https://www.icicm.com/files/MetodoTRIZ.pdf>
- Soriano Cabrera, S. (2004). Definición y clasificación de los estadios de la enfermedad renal crónica. Prevalencia. Claves para el diagnóstico precoz. Factores de riesgo de enfermedad renal crónica. *Nefrología*, 24, 27–34. Recuperado de <http://www.revistanefrologia.com/es-definicion-clasificacion-los-estadios-enfermedad-articulo-X0211699504030666>
- Tamayo y Orozco, J. A., & Quirós Lastiri, H. S. (2016). *La enfermedad renal crónica en México. Hacia una política nacional para enfrentarla*. Recuperado de https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/ENF-RENAL.pdf
- Venado Estrada, A., Moreno López, J. A., Rodríguez Alvarado, M., & López Cervantes, M. (s/f). *Insuficiencia Renal Crónica*. Unidad de Proyectos Especiales. Universidad Nacional Autónoma de México.

6. Notas Biográficas

Israel Robles Hernández es Ingeniero Mecánico Eléctrico, MII. y profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-8273-6155>. E-mail: israelrobles2013@gmail.com

Isabel Lagunes Gómez es Licenciada en Ciencias Políticas y Administración Pública, Maestra en Ciencias de la Educación y Doctorante en Gerencia Pública y Política Social y profesora de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-4631-4385>. E-mail: ilagunes@msev.gob.mx

Saúl Santiago Cruz es Ingeniero Civil, Maestro en Administración Industrial, Cédula No. 8441463 y Candidato a Doctor en Medio Ambiente. Ejerce en la actualidad como catedrático de tiempo completo adscrito al área de Posgrado en Ingeniería Industrial y en la Licenciatura de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. E-mail: ssantiagoc@itsm.edu.mx

Ana María Pérez Maldonado es Ingeniera en Metalurgia y Materiales y profesora de Tiempo Completo en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Alvarado, Veracruz. E-mail: anamaria.perez.maldonado87@gmail.com

Evaluación de la degradación de residuos de sorgo dulce utilizando consorcios microbianos obtenidos de microorganismos autóctonos

Argelia Alcántara Rincón, I.I¹, Dr. Noé Montes García², Dr. David Reyes González³, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga⁴,

Argelia Alcántara Rincón, Ingeniero Industrial, estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail. argelia.alrin@outlook.com

² El Dr. Noé Montes García, es Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) campus Río Bravo, Tamaulipas. Mail. montes.noe@inifap.gob.mx

³ El Dr. David Reyes González es el coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail. dreyesg@itsm.edu.mx

⁴ La Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga es profesora Investigadora del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer)-UNIDA, Veracruz. Mail. maguilaruscanga@yahoo.com.mx, gaguilar@itver.edu.mx

Resumen— Los consorcios microbianos son una mezcla de microorganismos y enzimas obtenidos de distintos géneros y especies, son utilizados para la degradación de residuos y producción de energía. Actualmente una de las problemáticas en la agricultura es la pérdida de nutrientes de los suelos provocado por las malas prácticas agrícolas y el uso excesivo de productos químicos. Cuatro consorcios microbianos con seis diferentes microorganismos para la degradación de residuos (rastrojo) de sorgo dulce fueron probados a tres concentraciones; 3 L/ha, 6 L/ha y 9 L/ha durante un periodo de 5 meses tomando muestras mensualmente; se le determinó la composición lignocelulósica del residuo de sorgo dulce en crudo: 28% de celulosa, 22% de hemicelulosa y 22% de lignina (encontrándose valores cercanos a los valores reportados en la literatura) antes de ser tratada. Además de la concentración también se evaluó mediante análisis estadístico el efecto del tipo de consorcio microbiano. Se encontró que todos los consorcios microbianos afectan de igual manera similar la degradación y que con la dosis 6 L/ha se genera una mayor descomposición del rastrojo de sorgo dulce desde el primer mes de su aplicación.

Palabra(s) clave— Consorcios microbianos, degradación, residuos de sorgo dulce, celulosa.

Abstract— Microbial consortia, mixtures of microorganisms and enzymes obtained from different genera and species, are used for waste degradation and energy production. Currently, one of the problems in agriculture is the loss of nutrients from soils caused by bad agricultural practices and the excessive use of chemical products. Four microbial consortia with six different microorganisms were tested for sweet sorghum stubble degradation at three concentrations (3 L/ha, 6 L/ha and 9 L/ha) for a period of 5 months, taking samples monthly; lignocellulosic composition of the crude sweet sorghum stubble was determined at 28% cellulose, 22% hemicellulose and 22% lignin (values close to those reported in the literature) before treatment. The effect of microbial consortium type was also assessed by statistical analysis; all microbial consortia were found have an effect similar to degradation and that the 6 L / ha dose generates a greater decomposition of sweet sorghum stubble from the first month of its application.

Key words—Microbial consortia, degradation, stubble sweet sorghum, cellulose.

1. Introducción

El sorgo (*Sorghum bicolor*) es uno de los cultivos más antiguos y actualmente es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo. Se dividen en cuatro grupos: sorgos de grano (alimentación), sorgos forrajeros (pastoreo y henificar), sorgos dulces (jarabes), y sorgo de escobas (confección de escobas y cepillos). En 2016, México fue el cuarto productor de sorgo dulce a nivel mundial, con una producción de seis millones de toneladas (SIAP, 2017). Los residuos que generan los cultivos de sorgo son de 3.92 millones de toneladas anuales. La biomasa lignocelulósica del sorgo dulce (bagazo) presenta una estructura compleja, los residuos lignocelulósicos son una nueva área por explorar, la caracterización físico-química de estos materiales es un paso fundamental para el proceso de biotransformación (Holguin y col., 2017). El residuo obtenido después del proceso de extracción de jugos es un material fibroso, conformado básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La fracción mayoritaria de la biomasa en el sorgo dulce es la celulosa.

El suelo constituye un recurso natural que desempeña diversas funciones en la superficie de la Tierra, brinda un soporte, así como nutrientes para el crecimiento de plantas y microorganismos (Velasco y col., 2002). Desafortunadamente, en muchas ocasiones, los mecanismos amortiguadores naturales son superados y muchos suelos del mundo se encuentran en un nivel avanzado de degradación, especialmente por contaminación química (Molina y col., 2006). Los fertilizantes que se usan en el campo para aumentar la producción de los cultivos están hechos con compuestos químicos que en su mayoría son tóxicos y se deben usar sólo en las dosis requeridas. Pero, por lo general, se aplican en cantidades mayores que las requeridas y entonces, al regar los cultivos, estos químicos ingresan al suelo y al subsuelo.

La biorremediación es un proceso viable para remover los residuos contaminantes del ambiente, la remediación se logra en días o meses (Bialtas y col., 2014). Además, de ser un tratamiento económico, es amigable con el ambiente. Aquí los microorganismos juegan un papel muy importante en los procesos de degradación, ya que se ha comprobado que las cepas puras o consorcios microbianos, son capaces de degradar residuos, usándolos como fuentes de carbono y generan componentes que pueden enriquecer el suelo. Para lograr una biorremediación y velocidades de remoción efectivas de contaminantes, se deben tomar en cuenta factores como las condiciones ambientales, el tipo de microorganismo, la concentración del inóculo y la estructura del compuesto a degradar (Ponge y col., 2012). La aplicación de los consorcios microbianos en la descontaminación de los suelos suele tener buenos resultados, que se traducen en el aumento de masa microbiana con la consecuente eficiencia de remoción de contaminante o de moléculas más grandes a pequeñas.

Los consorcios microbianos tienen una distribución muy amplia en la naturaleza, tanto en ambientes acuáticos como terrestres. Los consorcios resultan clave en los ciclos biogeoquímicos, tiene gran importancia ecológica dada a la gran cantidad de estrategias metabólicas que pueden desarrollar. Desde el punto de vista tecnológico los consorcios microbianos se han utilizado para la remoción de metales pesados y de contaminantes orgánicos [47] presentes en aguas residuales, para la obtención de biodiésel (Hena y Tabassum, 2015) y de energía eléctrica (Gajda y col., 2015) y para la conversión de carbono y generación de biogás.

En esta investigación se propuso como objetivo, evaluar la degradación del residuo de sorgo dulce mediante la aplicación de cuatro diferentes consorcios microbianos en distintas concentraciones y formulaciones, con el fin de evaluar su eficiencia en la degradación del material lignocelulósico y el enriquecimiento de los suelos.

2. Desarrollo

En la Figura 1 se esquematiza de manera general la metodología seguida para el desarrollo de este trabajo,

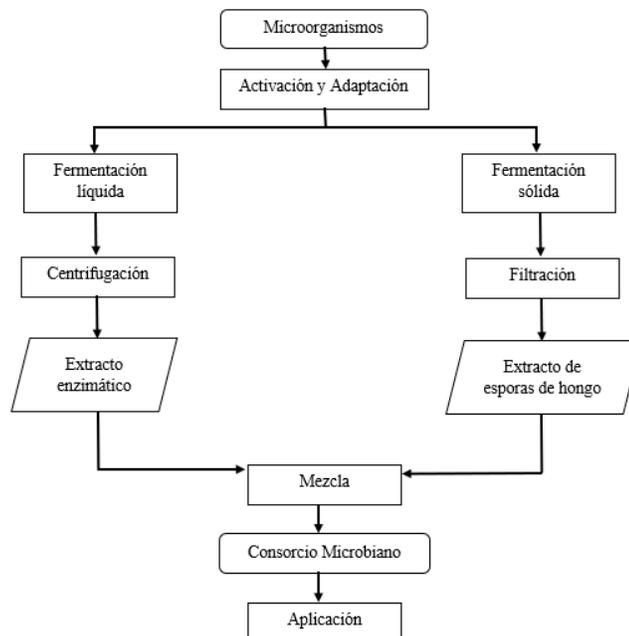


Figura 1. Metodología para la producción de consorcios microbianos.

Como podemos observar en la Figura 1, el proceso de producción del consorcio inicia en la selección y propagación de cada uno de los microorganismos utilizados, terminando con la formulación de los mismos. A continuación, se describe de manera detallada cada una de las actividades mostradas en la Figura 1.

Microorganismos. Se utilizaron seis microorganismos, los cuales fueron aislados y estudiados por el grupo de investigación del laboratorio de Bioingeniería del Instituto Tecnológico de Veracruz, quienes fueron identificados y codificados como: *Aspergillus niger* ITV-01, BHC₁, *Aspergillus niger* ITV-02 (*M₂H₁₀*), RMH₁, *Aspergillus fumigatus* ITV-03 (*M₂H₅*) y *Aspergillus tamaritii* ITV-04 (*SA₃*). Estos microorganismos tienen la ventaja de asimilar y fermentar diferentes fuentes de carbono y producir los tres tipos de enzimas hidrolasas: Endocelulasas, Exocelulasas y β-glucosidasas, las cuales realizan la degradación del residuo de sorgo dulce.

Medio de activación. Los microorganismos se activaron en matraces de vidrio a una temperatura de 30°C durante 24 horas en un medio con los componentes que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes del medio de activación.

Componentes	g/L
Extracto de levadura	10
Peptona de caseína	20
Glucosa	20

Medio de adaptación. Para la propagación de los hongos se elaboraron medios en matraces de vidrio, y se incubaron a una temperatura de 30°C durante 24 horas, el cual contenía: Extracto de levadura 10 g/L, peptona de caseína 20 g/L, glucosa 10 g/L y carboximetilcelulosa 10 g/L.

Fermentación líquida. Para el crecimiento y producción de las enzimas de los diferentes hongos se incubaron en matraces Erlenmeyer con los componentes que se muestran en la Tabla 2 (Medio Mandels), a una temperatura de 30°C, 250 rpm durante 50 horas.

Tabla 2. Componentes del medio de fermentación líquida

Componentes	Cantidad
KH ₂ PO ₄	2.0 g/L
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.3 g/L
Urea	0.9 g/L
(NH ₄) ₂ ·SO ₄	2.4 g/L
CaCl ₂	0.3 g/L
Peptona	1.0 g/L
FeSO ₄ ·7H ₂ O	5.0 mg/L
MnSO ₄ ·7H ₂ O	1.6 mg/L
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1.4 mg/L
CoCl ₂	2.0 mg/L
Fuente de carbono	10 g/L
Extracto de levadura	1.5 g/L

Se inocularon 6x10⁶ esp/mL, la cual antes de la inoculación se había adaptado a los diferentes sustratos por tres generaciones, en todos los casos se utilizó 10% de inóculo con respecto al volumen de trabajo. Durante la fermentación el pH se ajustó a 5.5. Terminada las fermentaciones, se procedió a recuperar el extracto enzimático, utilizando un filtro de 5 micras.

Centrifugación. La biomasa fúngica y el extracto enzimático obtenidos de la fermentación líquida fueron separados mediante una centrifugadora Eppendorf a 4,000 rpm durante 20 minutos.

Fermentación sólida. La concentración de sustrato utilizada fue de 250 ml con un 80% de humedad del bagazo de sorgo, utilizando medio Mandels (Tabla 2), se llevaron a una temperatura de 30°C, sin agitación, durante 50 horas. Se inocularon con 6×10^6 esp/m y durante la fermentación se registró un pH de 5.5

Filtración. La biomasa fúngica y el extracto enzimático obtenidos de la fermentación sólida fueron separados mediante una pañolina y papel Whatman del número diez.

Manejo experimental: Preparación y aplicación de consorcios: Se prepararon cuatro diferentes consorcios microbianos modificando tipo y relación de esporas y enzimas. Las formulaciones con los seis microorganismos para la composición de los consorcios microbianos se encuentran detallada en la Tabla 3. La aplicación de este consorcio inició el 28 de diciembre del 2018. Las variables evaluadas fueron a) la variedad de consorcios microbianos y b) la dosis del consorcio aplicada al residuo de sorgo 3 L/ha, 6 L/ha y 9 L/ha. Evaluando la degradación de los residuos mediante la simulación de las condiciones a las cuales se encuentran los diferentes residuos en campo. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar con una repetición. El recipiente experimental consistió en charolas de plástico de 14 cm por 16.5 cm al cual se le agregó el residuo de sorgo dulce manteniendo una relación de 6 toneladas de residuo por hectárea de tierra y 200 g de tierra.

Tabla 3. Composición de los consorcios microbianos.

Consorcio Microbiano	Hongo
1	M ₂ H ₅ + BCH ₁
2	M ₂ H ₁₀ + SA ₃
3	RMH1 + <i>Aspergillus niger</i> ITV-01
4	M ₂ H ₅ + M ₂ H ₁₀ + SA ₃ + BCH ₁

Variables evaluadas. De las charolas, se tomaron muestras mensuales del residuo de sorgo, en ellas se analizó la degradación de a) celulosa, b) hemicelulosa y c) lignina, mediante la metodología para la determinación de los polisacáridos estructurales utilizando la Técnica del NREL/TP-510-42618 (Sluiter y col., 2012).

Análisis estadístico. Los datos de las variables de estudio se sometieron a análisis de varianza, la separación de medias fue mediante la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Estos análisis se realizaron a través del programa Minitab.

3. Resultados

Tal como se mencionó para la determinación de los polisacáridos se utilizó la Técnica del NREL/TP-510-42618, los resultados obtenidos en la caracterización del residuo de sorgo dulce se muestran en la Tabla 4, en la que se presenta la composición de celulosa, hemicelulosa y lignina obtenida experimentalmente en el residuo de sorgo crudo y en los residuos de sorgo dulce tratados con diferentes consorcios microbianos.

Tabla 4. Composición del residuo de sorgo dulce en sus diferentes etapas

Residuo	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)
Residuo Sorgo Crudo	27.594	22.339	21.691
Tratado por Consorcio 1			
Dosis 3	17.109	15.041	48.659
Dosis 6	15.329	14.174	44.803
Dosis 9	16.095	14.378	54.068
Tratado por Consorcio 2			
Dosis 3	18.651	13.360	53.843
Dosis 6	10.036	0.000	58.211
Dosis 9	14.488	5.396	51.994
Tratado por Consorcio 3			
Dosis 3	16.577	14.485	51.590
Dosis 6	10.769	0.000	48.679
Dosis 9	20.095	15.594	47.380
Dosis 3	14.126	13.466	52.094
Dosis 6	7.841	0.000	48.463

Tratado por Consorcio 4	Dosis 9	15.005	15.505	54.063
-------------------------	---------	--------	--------	--------

Como se puede observar en la Tabla 3, la composición del residuo de sorgo dulce crudo obtenida cambia con la aplicación del consorcio microbiano a través del tiempo. Los porcentajes de degradación de celulosa, hemicelulosa y lignina fueron calculados a partir de la Tabla 3, mediante la ecuación 1, obteniendo los totales o porcentajes de remoción que se muestran en la Figura 2.

$$\% Rem_x = \left[\frac{\%X_i - \%X_f}{\%X_i} \right] * 100 \quad Ec.1$$

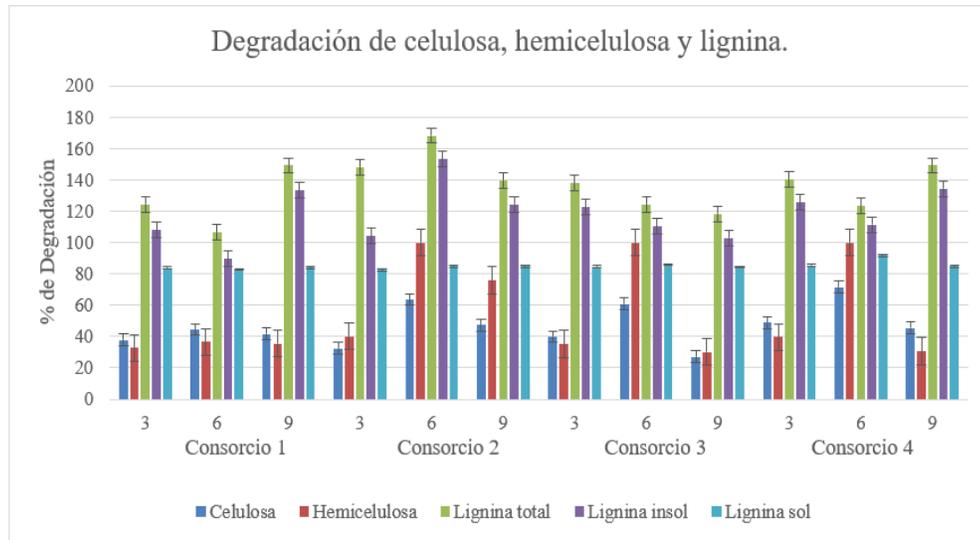


Figura 2. Degradación de celulosa, hemicelulosa y lignina mediante consorcios microbianos en diferentes dosis.

Como puede observar, el consorcio 2 y 4 muestra la mayor degradación de lignina total e insoluble, así como la dosis 6 L/ha para el caso del consorcio 2 y la 9 L/ha para el consorcio 4. Estas diferencias entre las concentraciones de los consorcios son debidas a la cantidad de inóculo y tipo de microorganismo presente en cada consorcio, ya que estas variables afectan de manera significativa en la degradación de celulosa del residuo de sorgo dulce con cualquiera de los cuatro consorcios microbianos. El análisis estadístico, para este diseño experimental, se realizó con un intervalo de confianza del 95%. De la ANOVA se puede resaltar que el modelo propuesto para el programa es significativo, así como la variable de dosis (3 L/ha, 6 L/ha y 9 L/ha), mientras que la variable de tipo de consorcio microbiano no tiene un impacto significativo en la variable de respuesta, se puede afirmar debido a que los valores del p-value son mayores a 0,05 (Tabla 5). Mediante la prueba Tukey se obtuvo la dosis con mayor degradación de celulosa; siendo 6 L/ha la que afecta significativamente.

Tabla 5. Efecto del tipo de consorcio microbiano y dosis, sobre la degradación de residuos de sorgo dulce mediante ANOVA.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Consortio	3	361.1	120.36	1.71	0.264
Dosis	2	1070.1	535.06	7.60	0.023
Error	6	422.3	70.38		
Total	11	1853.5			

En un estudio realizado sobre la degradación del petróleo en el suelo mediante consorcios microbianos, encontraron que se puede degradar un 52% del petróleo crudo con concentraciones iniciales de 10,000 mg/L en un medio líquido (Zhao y col., 2011), comparado con los porcentajes que se muestran en la Figura 1 se puede decir que los consorcios microbianos degradan de manera similar. También la degradación de fenantreno por un consorcio registra una degradación de 100%, 57% y 26% en concentraciones de 100 mg/L, 250 mg/L y 500 mg/L, en medio líquido (Jambandhu y col., 2011). Otro estudio realizado con consorcios microbianos sobre la degradación de cianuro muestra una remoción del 53% en una concentración de 2,000 mg/L (Garcés y col.,

2006). Estudios más a detalle son recomendables para establecer una dosis y condiciones de aplicación de estos consorcios tanto a nivel laboratorio como en campo, con la finalidad de mejorar la degradación de estos residuos de sorgo dulce obtenidos en este estudio y poder utilizarlos en otros residuos de campo.

4. Conclusiones

El desarrollo de estrategias de biorremediación o mejoramiento eficientes de suelo requiere del conocimiento de los parámetros ambientales y funcionamiento metabólico que rigen a un consorcio microbiano. La exposición prolongada de los consorcios los hace más eficientes para degradar residuos de sorgo dulce como única fuente de carbono. Los cuatro consorcios microbianos evaluados no presentan efectos significativos en la degradación de residuo de sorgo dulce en cuanto a la composición de los inóculos, pero si en las dosis en las que se aplicaron, siendo la dosis 6 L/ha para el consorcio dos y de 9 g/L para el consorcio cuatro, las que mayor efecto provocaron en la degradación de la lignina y la celulosa. La aplicación de consorcios microbianos es una alternativa para la biorremediación y mejoramiento de los suelos que puede llegar a ser aplicada en un futuro en el campo. Estudios complementarios son necesarios para incrementar el porcentaje de degradación y eficiencia de estos consorcios a nivel laboratorio, evaluando el efecto de temperatura, pH, concentración; entre otros. Así como también evaluar estos formulados en parcelas experimentales en el campo para la degradación de residuos.

5. Referencias

- Bialtas, W., Lisiecki, P., & Dziadas, M. (2014). Biodegradation of diesel/biodiesel blends in saturated sand microcosms. *Fuel*, 321-327
- Gajda, I., Greenman, C., & Melhuish I. (2015). Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system. *Biomass and Bioenergy*, 1-7.
- Garcés, A., Agudelo, L., Macías, K., y Salinas, N. (2006). Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. *Revista Lasallista de Investigación*, 7-12.
- Hena, S., & Tabassum, F. (2015). Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. *Water Resources and Industry*, 1-14.
- Holguin, J.F., Peña, J.D., Ríos, L.A., y Pañuela, M. (2017). Bagazo de sorgo dulce: una alternativa para la producción de etanol de segunda generación en Colombia (Parte I). *Informador técnico*, 141.
- Jambandhu, A., & Fulekar, M.H. (2011). Biodegradation of phenanthrene using adapted microbial consortium isolated from petrochemical contaminated environment. *Journal of Hazardous Materials*, 333-340.
- Molina, M., Agudelo L., Macías K., y Salinas, N. (2006). Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. *Revista Lasallista de Investigación*, 7-12.
- Muñoz, R., Alvarez, A., Muñoz, E., & Terrazas, B., (2006). Sequential removal of heavy metals ions and organic pollutants using an algal-bacterial consortium. *Chemosphere*, 3-11.
- Ponge, J.F., Lors, C., Damidot, D., & Périé F. (2012). Comparison of bioremediation process of PAHs in a PAHs-contaminated soil at field and laboratory scales. *Environmental Pollution*, 11-17.
- SIAP. (2017). *Bioenergéticos Higerilla, Jatropha Curcas, Sorgo Dulce mexicanos*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Templeton, D., y Crocker, D. (2012). Determination of structural carbohydrates and lignin in Biomass. *Laboratory Analytical Procedure*.
- Velasco, J.A., y Volke, T. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Zhao, D., Liu, C., Liu, L., Zhang, Y., & Wu, W.M. (2011). Selection of functional consortium for crude oil-contaminated soil remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 44-48.

6. Notas Biográficas

La I.I. **Argelia Alcántara Rincón** es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **Dr. Noé Montes García** es profesor investigador del INIFAP, Campus Río, Bravo Tamaulipas. Es el Líder en la investigación del Sorgo en México. Especialista en la generación de nuevas variedades de sorgo.

El **Dr. David Reyes González** es coordinador de estudios de posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. Tiene Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la Universidad Nacional Autónoma de México.

La **Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga** es PI. del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería. Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción Bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

7. Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca a la C. **Argelia Alcántara Rincón** durante la realización de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Técnicas de recolección inteligente de productos apícolas aplicadas en colmenas de la región de Misantla.

José Ignacio Morales Duran, Ingeniero Industrial¹. Margarito Landa Zárate, MII.². Sandra Guadalupe García Aburto, Maestra en Ciencias de la Ingeniería Administrativa³. Marieli Lavoignet Ruiz, MII.⁴.

José Ignacio Morales Duran, Ingeniero Industrial, de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: 182T0774@itsm.edu.mx

² El MII Margarito Landa Zárate, profesor de postgrado de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlandaz@itsm.edu.mx

³ La MC Sandra Guadalupe García Aburto, profesora integrante de la academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: sgGarcíaa@itsm.edu.mx

⁴ La MII Marieli Lavoignet Ruiz, profesora integrante de la academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlavoignetr @itsm.edu.mx

Resumen— La apicultura es una actividad pecuaria la cual reporta ingresos económicos a la región de Misantla, en dicha actividad el producto que se obtiene básicamente es la miel y sólo algunos cuantos apicultores extraen dos o más productos, llevándolo acabo de manera rústica o artesanal, obteniendo un mínimo de aprovechamiento de sus colmenas. En este trabajo, se presenta una revisión de las técnicas de recolección inteligente de productos apícolas no explotados en la región de Misantla, los cuales son: el propóleo y polen, a través de un análisis exploratorio y descriptivo, se pudo identificar la deficiencia de recolección de los productos antes mencionados.

La metodología de la investigación comprende dos etapas, identificación del tipo de colmena de la región para su explotación comercial, así como identificación de las técnicas para la recolección de productos derivados de la apicultura.

Palabra(s) clave— Apicultura, recolección inteligente, aprovechamiento, producción artesanal.

Abstract— Beekeeping is a livestock activity which reports economic income to the Misantla region, in this activity the product obtained is honey and only a few beekeepers extract two or more products, carrying it out in a rustic or artisanal way, obtaining a minimum use of their hives. In this work, a review of the techniques of intelligent collection of untapped bee products in the region of Misantla is presented, which are: propolis and pollen, through an exploratory and descriptive analysis, the collection deficiency could be identified of the products previously affected.

The research methodology includes two stages, identification of the hive type in the region for commercial exploitation, as well as the identification of techniques for the collection of products derived from beekeeping.

Key words –Beekeeping, intelligent collection, use, artisanal production.

1. Introducción

La cría de abeja ha estado presente desde el México prehispánico, en el inicio con la *Melipona beecheii* y a mediados del siglo XX se introdujo la *Apis mellifera ligustica* (Munguía, 2013), con este cambio la actividad adquirió una mayor importancia técnica y económica, ya que los productores adoptaron nuevas formas de manejo, mayor nivel de ingreso monetario y respondieron a la demanda del mercado internacional (Rosales & Rubio, 2010).

Apicultura, actividad que se refiere a la crianza de abejas y obtención de productos re colectables tales como: miel, jalea real, el polen, la cera, el propóleo, entre otras (Contreras-Escareño, 2013).

En el estado de Veracruz, la apicultura es una de las principales actividades que se realizan en el sector agropecuario, debido a la producción de productos re-colectables apícolas de alta calidad, son apreciados en Estados Unidos de América y en diversos países de Europa por sus propiedades nutritivas, aroma, sabor, color y calidad (Francisco J. Güemes-Ricalde, 2004). Teniendo una producción anual de 61.6 toneladas (SIAP, 2010).

En el municipio de Misantla se practica esta actividad generalmente en unidades de producción artesanal a pequeña escala, la cual proporciona beneficios económicos a los productores. La rentabilidad que genera es un elemento importante en la estrategia económica y de vida de las familias del medio rural (Calderon G, 2014). De acuerdo con Magaña et al, (2012) mencionan que el ingreso por venta de miel, los salarios y el valor de la compra de insumos, equipos y materiales, son los principales rubros del efecto multiplicador del ingreso que genera esta actividad sobre la región.

Los apicultores de la región tienen un mercado de productos limitado, debido a su sistema de producción aun artesanal, quedando expuestos a mayoristas los cuales monopolizan un solo derivado de la actividad el cual es la miel, estableciendo el precio por producto dejando un margen de ganancia escaso, poniendo en riesgo próximas cosechas por falta de recursos para reinvertir en producción (Roque, Fernández, & Tiburcio, 2016).

Esta situación deriva de la falta de manejo y practica de técnicas de recolección inteligente apícolas, las cuales dan al apicultor la ventaja y versatilidad de la obtención completa de productos producidos, pero no extraídos de las colmenas en la región de Misantla, dejando aun lado los ingresos que estas mismas generan en los mercados locales o regionales, fundando una mayor fuente de ingresos y asegurando recursos para poder reinvertir en futuras cosechas. Los usos más comunes de estos productos son (Soto-Muciño, 2017).

- Miel: Utilizada como alimento, medicina, cosméticos y artículos de tocador, así como para combinar con productos industrializados cereales y productos alimenticios.
- Cera de abejas: se emplea en cosmética, artículos de tocador, farmacéuticos, abrillantadores y velas.
- Propóleo: se emplea como medicina y suplemento dietético.
- Polen: suplemento dietético.
- Jalea Real: Productos de cosmética y tocador.

2. Desarrollo

Método.

La metodología utilizada (Figura 1) para el presente trabajo consta de tres etapas las cuales se integran por una revisión literaria, una selección de técnicas, así como la aplicación de dichas en el tipo de colmena que predomina en la región.

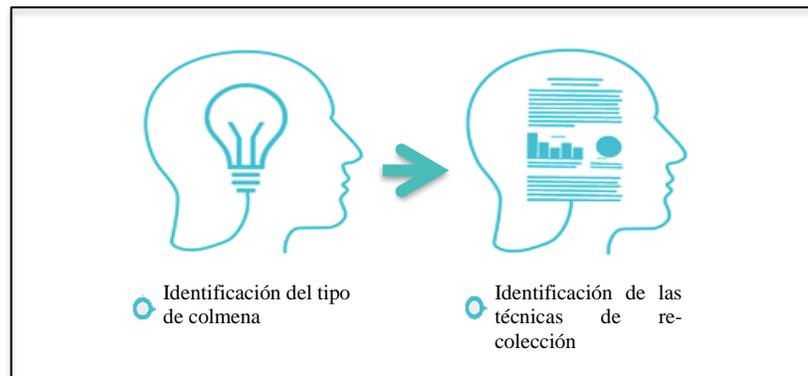


Figura 1 Metodología utilizada

Situación actual

La colmena es el habitáculo de las abejas y el enjambre o colonia que vive en ella. Estas colmenas pueden resguardar hasta 80.000 ejemplares, separados en: obreras, zánganos y la abeja reina (Hernández, 2015). En el municipio de Misantla los apicultores utilizan las colmenas racionales, las cuales son construidas por el hombre como albergue del enjambre, del tipo móvil construidas con cuadros móviles en su interior donde se sitúan los panales permitiendo su explotación sin la destrucción del nido de cría (Soto-Muciño, 2017).

Correa et al. (2018) existen muchas variantes de las colmenas móviles, pero la mas utilizada por los apicultores de la región es la Langstroth es una colmena de crecimiento vertical por el uso de las alzas, por lo cual el crecimiento de la colmena durante la temporada es hacia arriba, su característica peculiar es la facilidad de embonar con una idéntica medida entre alzas y cajón de cría.



Ventajas:

- Es la más utilizada.
- Posibilidad de modular su volumen.
- Cuadros de la cámara de cría y alza son iguales, facilitando las operaciones de manejo.
- La extracción de la miel es fácil.
- Duración prolongada.
- Posibilidad de cosechar miel monofloral.
- Limpieza fácil.
- Control de la población.
- Tamaño de la piquera variable.

Figura 2 Colmena Langstroth Fuente: Internet

La colmena Langstroth por su estructura no permite la extracción de otros productos recolectables que no sean la miel, dejando fuera el aprovechamiento integral que puede representar esta colmena con las técnicas de recolección inteligente, por medio de ellas se es posible la obtención de los productos propóleo y polen, generando 2 mercados en los cuales los apicultores pueden incursionar obteniendo un crecimiento con los ingresos económicos que generan por temporada, asegurando inversiones para próximas cosechas.

Tras la falta de aprovechamiento integral de productos producidos, pero no recolectados, se identificaron dos causas probables: falta de conocimiento y adaptación de colmena; por ello se incentivó una investigación literaria con objetivo de identificar las principales técnicas de recolección apícolas, las cuales prometen la obtención de producto no obtenido asegurando la integridad de la colonia en el momento de la extracción. Por ello se presentan las técnicas reportadas en la literatura.

El hombre a través de su iniciativa y creatividad ha buscado la forma de simplificar todas las actividades que realiza dentro de su labor productiva, independientemente a cuál sea su objetivo (Herrera Monterroso, 2007). Dentro de algunos de los objetivos de la aplicación de técnicas para la simplificación del trabajo se encuentran los siguientes:

- Reducir al mínimo el esfuerzo requerido para llevar a cabo una determinada tarea, ya sea mental o física.
- Mejorar el funcionamiento organizacional, a través de métodos tales como la redistribución de funciones, la eliminación, reducción y combinación de fases de una actividad o labor y la nivelación o tabulación del trabajo.
- Optimización y aprovechamiento de los recursos disponibles.
- Mejorar el flujo o secuencia del trabajo dentro de todas las áreas que la integran.
- Reducción del número y el costo de las operaciones administrativas, mediante la disminución de trámites y la combinación, unión o eliminación de formas impresas.
- Mejor aprovechamiento del recurso humano, al reducir desplazamientos y tiempos innecesarios.
- Mejor atención al público, al disminuir el tiempo dedicado a las actividades de trámite de documentos y trabajo rutinario.
- Renovación del interés del empleado por su trabajo, resultado de una comprensión más clara del objetivo de su tarea y de su relación con otros trabajos dentro de la oficina.

A continuación, se describen los resultados de la búsqueda literaria respecto a las técnicas inteligentes utilizadas para la recolección de polen y propóleo:

El polen apícola es el resultado de compactar el polen de las flores con néctar y sustancias salivares de abejas obreras, en las corbículas de sus patas traseras, tiene valor como alimento saludable; contiene el 30% de proteínas, el 30% de carbohidratos, el 5% de grasas y muchos elementos menores, revelándose potencialmente como una fuente útil de nutrición. El polen se recolecta fácilmente por medio de las trampas colocadas en la entrada de las colmenas. Cuando las abejas pasan a través de la malla los gránulos que contienen en las cestas de polen de sus piernas traseras caen en un contenedor, del cual se recoge (SIAP, 2010).

Trampa caza polen

Una trampa caza polen es un dispositivo que permite retener los granos de polen, transportados en el último par de patas de las abejas obreras sostenidos en pelos a modo de cestillas, hacia el interior de la colmena, consiste en una lámina de plástico por donde pasarán las abejas dejando la mayor parte de su cargamento en el recipiente colector de la trampa y que el apicultor cosecha (Gil, 2008).

Las rejillas se construyen de tal forma que no dañen el cuerpo de la abeja al atravesarlos, los de metal no se utilizan ya que al construirlos pueden quedar aristas que amputan las alas o las patas. Al cosechar polen se debe tener en cuenta que cuando las abejas se encuentran con la trampa y como les supone una dificultad tienden a derivar hacia las colmenas laterales, para evitarlo se ponen todas las trampas en colmenas seguidas.

También es importante dejar por la entrada una ventilación suficiente para evitar la asfixia de las abejas; cuando el apicultor coloca las trampas caza polen se observa que las abejas disminuyen el tamaño de las bolas de polen de forma instintiva, con esto demuestran la importancia que para la colonia supone el aporte de polen. Si la rejilla retuviera todo el polen, las abejas no podrían alimentar correctamente la cría, la colonia se debilitaría en poco tiempo o moriría (Cobo Ochoa, 2010).

Tipos de trampa para polen

Existe en la actualidad un numero de trampas que facilitan la recolección del polen, se clasifican según la posición de la rejilla con respecto a la colmena se clasifican en (Cobo Ochoa, 2010)[11]:

- Entrada (delanteros) colocados en la piquera habitual.
- Bajeras (o inferiores) instalados bajo el cuerpo, sustituyendo la base de la colmena.
- Encimeros (o superiores) colocado en lugar del cubre paneles, sobre el cuerpo o sobre el alza. Este necesita que la entrada este cerrada y que las abejas se acostumbren a entrar por arriba (lleva poco tiempo que las abejas se acostumbren) recomendado en sitios húmedos.

Elementos de trampa de polen

Consta de los siguientes elementos:

- Rejilla.
- Cajón-colector.
- Tubos escapa zánganos.
- Malla fija.
- Tejadillo.

Composición: la parte básica es la rejilla que está hecha generalmente de material plástico con agujeros de 5 mm o de 4,5 mm según la especie de abeja que tengamos, debe tener el suficiente diámetro como para que una obrera los atraviese y ser lo bastante estrecho como para que se desprendan las bolitas de polen que transporta en la cara externa de las patas posteriores.

Bajo la rejilla, un tamiz horizontal con mallas de 3 mm. deja pasar el polen al cajón colector que lo recoge. El apicultor recolecta periódicamente el contenido del cajón.

Los caza polen tienen a los lados unos agujeros de mayor diámetro para permitir a los zánganos que están en el interior de la colmena puedan salir al campo, de no existir se quedarían en la entrada impidiendo que las abejas puedan pasar por la rejilla.

El tejadillo sirve para evitar que la lluvia moje la trampa.

Las abejas melíferas recogen la resina y la goma de las partes deterioradas de las plantas. Esta sustancia pegajosa, generalmente de color marrón, se llama propóleo. Al igual que la miel, cambia su composición de acuerdo a las plantas que las abejas visitan. Las abejas usan el propóleo para mantener sus nidos secos, protegidos de las corrientes de aire, seguros y limpios. El propóleo es utilizado para tapar todas las hendiduras donde podrían desarrollarse micro-organismos, y su aceite volátil es una especie de desodorante antiséptico. Las abejas utilizan el propóleo como material de construcción para regular el tamaño de las entradas de los nidos y para hacer la superficie más lisa, facilitando su tránsito; para barnizar el interior de los alvéolos antes de que la reina ponga los huevos, garantizando una ubicación higiénica, fuerte e impermeable para el desarrollo de la larva; para embalsamar los cuerpos de ratones y otros depredadores demasiado grandes, que las abejas no pueden alejar de sus nidos y que al descomponerse son una fuente de infecciones (IFAD, 2016).

Trampa para propóleo

La obtención de propóleo se obtiene a la llegada de la primavera, se colocan las trampas de propóleo, iniciando así la tarea de las abejas la cual consiste en: cubrir agujeros hasta la llegada de la gran mielada, mientras está dura cesan completamente las abejas el acarreo, reanudándolo cuando pasa, se estima que antes

de la gran mielada las abejas logran cubrir en un 30% la trampa finalizando el verano logran cubrir un 70% es el momento en el que se cosecha el producto. Para la obtención de este se utiliza una trampa de propóleo, las trampas se basa en fomentar el instinto de las abejas de cerrar con propóleo todos los espacios que tienen una medida que no les permita ingresar a la colmena y puedan ser ducto de entradas de aire, agua o insectos invasores (Alviz Martin, Calleja Bueno, & Pereira Martin, 2010).

Formas de recolección de propóleo

- Mallas

Deben de ser colocadas sobre la ultima alza, se utiliza una “tela mosquitera” para que las abejas cubran poco a poco los agujeros con propóleo traído de los arboles o recogido de colmenas despobladas. También se utilizan mallas plásticas con características de agujeros de distintos tamaños.

Para separar el propóleo de la malla se deben de introducir a frigoríficos y después de varias horas se vuelve quebradizo el producto y se desprende con facilidad, de no ser así permanece blando y como su característica es viscosa no seria posible desprenderlo.

- Raspado

Se obtiene mediante la extracción y raspado de los marcos, del cubre panel o entre tapa o de cualquier sitio donde las abejas lo hayan depositado de forma espontánea, se debe de extraer de la forma mas higiénica para evitar contaminaciones.

- Colector inteligente

Fue denominado así en Brasil, lo que se pretende, es despertar el instinto de las obreras de “cubrir grietas” y de esa manera “invitarlas” a depositar el propóleo en los agujeros del colector.

El colector consiste en sustituir los laterales de las alzas por varios listones de madera separado por unos milímetros que se pueden retirar con facilidad para cosechar el propóleo depositado y son sustituidos por otros, el frontal y trasera del alza se mantienen; el instinto de las abejas es tan pronto se detectan aberturas, se encarga de cerrarlas tomándolo como actividad de importancia, cerrar los agujeros para las abejas significa evitar invasiones o ultrajes, como proteger del agua y el viento.

3. Resultados

Tras la revisión literaria se pueden definir que el tipo de colmena utilizados por los apicultores de la región de Misantla es tipo Langstroth; y las técnicas factibles para el modelo de colmena utilizada se especifican a continuación:

1. Trampa caza polen.
 - a. Tipo entrada delantera colocada en la piquera habitual.

Elementos:

 - Rejilla.
 - Cajón-Colector.
 - Escapa zánganos.
 - Malla fija.
 - Tejadillo.
2. Trampa para propóleo.
 - a. Tipo malla y colector inteligente superior.

Elementos:

 - Malla.
 - Marco de madera.
3. Trampa para propóleo.
 - a. Tipo malla y colector inteligente lateral.

Elementos:

 - Malla con marco de madera lateral.
 - Lateral de madera completo.

4. Conclusiones.

Los productores de la región de Misantla se encuentran sub-aprovechando la producción apícola, debido a que solo extrae la miel para su comercialización, dejando fuera el aprovechamiento de otros productos como lo son: el polen y el propóleo. Con la implementación de las técnicas inteligentes y realizando la adaptación a la colmena tipo Langstroth se visualiza un área de oportunidad para el aprovechamiento integral y una mayor

remuneración económica a los apicultores de la región, estas técnicas tienen la característica que para la recolección de estos productos no es necesario abrir el compartimento principal de la colmena, minimizando el stress de la colonia sin afectar la sobrevivencia de la colonia.

Se plantea como un trabajo futuro el rediseño de la colmena tipo Langstroth para evaluarla en campo para poder medir de forma cuantitativa el aprovechamiento de los productos derivados de la apicultura; y de esta forma poder evaluar el nivel de rentabilidad del mismo, así como también poder realizar los ajustes o mejoras que se deriven como consecuencia del monitoreo del mismo.

5. Referencias

Calderon G, G. (2014). Rentabilidad y alternativas de comercialización de los pequeños productores de miel en Campeche, México. XIX Congreso. .

Cobo Ochoa, A. (2010). El polen recogida, manejo y aplicaciones (1.ª edición). *Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario*.

Contreras-Escareño, F. P.-M.-G. (2013). . Características y situación actual de la apicultura en las regiones Sur y Sureste de Jalisco, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*.

SIAP. (2010). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. .

Soto-Muciño, L. E.-B. (2017). Situación apícola en México y perspectiva de la producción de miel en el estado de Veracruz. *Revista de estrategias del desarrollo empresarial*.

Vanessa Alviz Martín, L. C. (2010). Visión actual de la apicultura en España.

Eduardo, H. M. (2007). Herramientas para la simplificación del trabajo. .

Francisco J. Güemes-Ricalde, C. E.-G.-G. (2004). La apicultura en la península de Yucatán.

Hernández, J. R. (2015). Manual de prácticas de apicultura I. .

Gil, S. (2008). Apicultura.

IFAD. (2016). Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Apicultura. .

Munguía, G. M. (2013). La experiencia de organización de los pequeños productores de miel de América Latina a partir del trabajo conjunto de EDUCE y Kabitah en Campeche, PAUAL. *Sistema Producto Miel*.

MVZ. Adriana Correa Benítez, D. N. (2018). Buenas prácticas pecuarias en la producción de miel. .

Magaña Magaña, M. A. (2012). Estructura e importancia de la cadena productiva y comercial de la miel en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. .

Rosales, G. M., & Rubio , H. A. (2010). . Apicultura y organizaciones de apicultores entre los mayas de Yucatán. . *Estudios de cultura maya*.

Roque, P. J., Fernández, L. G., & Tiburcio, A. I. (2016). Enfoque de estudio territorial apoyado de sistemas de información geográfica para definir territorios apícolas en Misantla.

6. Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por proporcionar su apoyo a través de una beca económica a los estudiantes de esta maestría, fundamental para poder cursar la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

7. Notas Biográficas

El **Ing. José Ignacio Morales Duran** es I.egresado del Tecnológico Superior de Misantla, y actualmente es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MII. Margarito Landa Zárate** actualmente se desempeña como profesor de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Tiene estudios de postgrado en Ingeniería Industrial por el Tecnológico de Puebla, Puebla, México.

La **MC Sandra Guadalupe García Aburto** actualmente se desempeña como profesora integrante de la academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Tiene estudios de posgrado en Ciencias de la Ingeniería Administrativa por el Tecnológico de Orizaba.

La **MII Marieli Lavoignet Ruiz** actualmente se desempeña como profesora integrante de la academia de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Tiene estudios de postgrado en Ingeniería Industrial por el Tecnológico Superior de Misantla.

Efecto de la Música Clásica y Merengue en el Comportamiento de las Ondas Cerebrales Durante el Ensamble de un Producto a Base de Legos.

Ing. Lindsay Fernanda Nava Ornelas¹, MII. Ana Isela García Acosta², Dr. Jorge de la Riva Rodríguez³.

La Ingeniera Lindsay Fernanda Nava Ornelas, es Estudiante en el Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. fernaval3@hotmail.com.²

²La Maestra Ana Isela García Acosta, Docente Investigador en la Maestría en Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. agarcía@itcj.edu.mx.³

³El Doctor Jorge De La Riva Rodríguez, Docente Investigador en el Área de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. jriva@itcj.edu.mx.⁴

Resumen—En esta investigación se estudió el comportamiento de las ondas cerebrales y las áreas del cerebro de mayor activación al escuchar diferentes tipos de música en el ensamble de un producto a base de legos, una actividad del arte como lo es la música es un recurso para estimular los estados de la mente para mejorar la concentración de aprendizaje y reflexión, incluso con beneficios terapéuticos. Estudios de varios especialistas han descubierto que la música da como lugar la eficiencia de la memoria y la aceleración del aprendizaje logrando un mejor desempeño (Ostrander et al, 1989).

Palabra(s) clave— Ondas cerebrales, música, emotiv, Matlab.

Abstract— This research is proposed with the objective of studying the behavior of brain waves and detecting the areas of greatest activation in humans when listening to different types of music in the assembly of a product based on legos, an art activity such as music is a resource to stimulate the states of the mind to improve a concentration of learning and reflection, even with therapeutic benefits. Studies by several specialists have found that music results in memory efficiency and learning acceleration, achieving better performance.

Key words— Brain waves, music, Emotiv, Matlab.

1. Introducción

La presente investigación se realizó proporcionando al trabajador un ambiente agradable mediante la audición de música durante el desarrollo de sus actividades, con la finalidad de conocer el efecto de las ondas en el cerebro, manteniendo el estándar de producción. Se comparó el comportamiento de las ondas cerebrales, durante la manufactura del ensamble de un producto de legos, que se desarrollo en el laboratorio de ergonomía del ITCJ.

Dentro de la historia del hombre y sus comienzos al interactuar como sociedad se ha buscado constantemente el bienestar del ser humano y su desarrollo laboral según sus capacidades. Se ha demostrado en la literatura científica que durante los últimos años los científicos relacionan la música con el estado de ánimo, la concentración y la eficiencia en el trabajo. Diversos estudios realizados evaluaron el efecto de la música sobre la productividad, Por ejemplo, Orozco (2013), nos menciona que, de una muestra de 256 empleados, los que escucharon música consiguieron un desempeño laboral superior a los que no lo habían hecho.

En relación a esto, Almirall (2000) indica que las condiciones en las que las personas trabajan son muy importantes, pues existen efectos sobre su equilibrio psicofisiológico, también determina que existen elementos históricos en el desarrollo de la relación salud y trabajo, por ejemplo, en los Estados Unidos y en Inglaterra al

² Ingeniera Lindsay Fernanda Nava Ornelas, es Estudiante del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. fernaval3@hotmail.com

³ Maestra Ana Isela García Acosta, Docente Investigador en la Maestría en Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. agarcía@itcj.edu.mx.

⁴ Doctor Jorge De La Riva Rodríguez, Docente Investigador en el Área de posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México, campus Ciudad Juárez, Chihuahua, México. jriva@itcj.edu.mx.

final del siglo XIX y comienzo del XX se llevaron a cabo investigaciones de las desviaciones psíquicas en personas que trabajaban en empresas industriales, en el comercio y en el transporte.

Los recursos mentales ayudan al procesamiento mejorado en los efectos de respuesta ayudando a realizar tareas con mayor habilidad. Referente a esto, Llano (2014), muestra que actualmente vivimos en un mundo muy tecnificado dónde solo hay diseños en la mayoría de los casos en los elementos de una tarea, teniendo una carencia en la psicología del ser humano, por eso se propone la aplicación de la neuroergonomía la cual es definida por el estudio del cerebro y su conducta con el trabajo, es por eso que debe haber una adaptación del entorno y un análisis mental obteniendo pruebas y registros conductuales, considerando la emoción como un concepto fundamental del diseño del trabajo o utilizando herramientas tecnológicas para facilitar un ambiente adecuado para el operador.

La neuroergonomía es la disciplina que nace de la ergonomía, la palabra ergonomía está definida como aquella ciencia que estudia las características, capacidades y habilidades del ser humano analizando aquellos aspectos que tienen que ver con el diseño de productos o de procesos de producción, es decir, adaptar el entorno a las necesidades de las personas, debe buscar la comodidad del trabajador tomando en cuenta las peculiaridades de las personas según, Carvajal et al. (2016).

La neuroergonomía nos explica que los neurotransmisores son sustancias químicas producidas de manera natural por el cerebro y que están encargadas de transmitir un mensaje de una neurona a otra. Eso tiene que ver el hallazgo científico de que la inteligencia está relacionada con la calidad y cantidad de conexiones neuronales que un sujeto posee (Gardner, 2001). La neurociencia surge como una necesidad de utilizar el conocimiento sobre la estructura y el funcionamiento del cerebro para la solución de problemas prácticos.

En Europa, Orozco (2013) nos da a conocer que 8 de cada 10 trabajadores escuchan música para relajarse y que al encontrar una buena estimulación musical se puede generar una mejor productividad. En México se desarrolló un programa para alentar la motivación en el trabajador y estudiante alegando que “La música es el elemento clave, debido a que puede inducir a un estado de relajación corporal y dejar la mente alerta con capacidad para concentrarse, permitiendo al individuo la estimulación emocional y motivacional” (Lauretti, Villalobos, & González 2007).

La música ha estado presente en todas las culturas y con el uso de la tecnología se ha conseguido descifrar el mapa del cerebro mediante ondas y sus reacciones, además se ha observado que las personas activan partes del cerebro que ayudan a la memoria, si una persona escucha un tipo de música al momento de aprender algo, será más fácil de recordar lo aprendido. según O'Donnell (1999).

El cerebro es el único órgano que no se desgasta con el uso y posee miles de millones de neuronas, que reciben y transmiten impulsos nerviosos, Romo (2014), indica que el cerebro no está preparado para la vida moderna, llena de presiones, ajetreo e incertidumbre, sobre todo para personas con cargos de alta responsabilidad o que frecuentemente toman decisiones, haciendo que el cerebro se sobrecargue y no procese de manera correcta la información, limitando su creatividad en la solución de problemas.

También nos menciona Romo que fue el Neuropsiquiatra Alemán Hans Berger, quién descubrió en 1920 las ondas cerebrales y las variaciones emitidas por el cerebro, pero fue en 1958, que el profesor Joseph Kamiya por medio del entrenamiento a un voluntario mediante las ondas alfa, que mostro la capacidad del ser humano de controlar sus ondas cerebrales, con esto, se dice que podemos entrenar al cerebro para que adquiera mayores habilidades y técnicas.

Los investigadores determinan que la actividad cerebral está asociada a cinco tipos de ondas cerebrales: Delta, theta, alfa, beta y gamma. Las ondas cerebrales, según Vinueza (2016), poseen frecuencia y amplitud. Así, la frecuencia de pulsos eléctricos se mide en ciclos por segundo o Hz, variando de 0,5 a 38 Hz, y la amplitud representa cuán intensa es la onda cerebral. Para que una onda cerebral se encuentre a una frecuencia alta es necesario una alta actividad de detonación de potencias de acción neuronal o impulsos eléctricos, en cambio para que se dé una alta amplitud es necesario una actividad de disparo armonizada, es decir que para que una onda cerebral se halle a mayor amplitud se necesita que un mayor número de neuronas estén activadas en ese exacto instante.

En relación a esto Chávez et al. (2016), relatan que el comportamiento del ser humano siempre ha sido objeto de estudio, es por eso que denominan al cerebro como el control central de procesos de datos del humano, el problema es la variación en el comportamiento distinto de las señales causadas por las ondas cerebrales para cada individuo, por esta razón, señalan que es necesario generar patrones, en este caso eligieron una muestra de 10 personas y así estudiar el funcionamiento del sistema nervioso central, indican que la frecuencia y amplitud de las ondas se miden en ciclos por segundo y microvoltios en los diferentes estados de conciencia y muestran la siguiente tabla:

Tipo de Onda	Voltaje	Frecuencia	Estado Mental
Delta	10-50 μ V	0.5 – 4 Hz	Hipnótico, meditación.
Theta	10-100 μ V	4 – 7.5 Hz	Vigilia, plenitud, armonía.
Alfa	100-150 μ V	8 – 13 Hz	Relajación, tranquilidad, relajación.
Beta	150-200 μ V	14 – 26 Hz	Alerta máxima, vigilante.
Gamma	+200 μ V	+ de 30 Hz	Estado de estrés y confusión.

Tabla 1. Tipos de Onda (Sanei, 2013)

En las últimas décadas diversos estudios han demostrado que existe una comunicación entre la mente de una persona y lo que percibe a su alrededor, esto es detectado por medio de un electroencefalograma (EEG) interpretado por un dispositivo novedoso llamado Emotiv EPOC, el cual es de gran ayuda para este tipo de estudios o algo que nos marque el comportamiento del cerebro.

Un estudio realizado en Berlín en el año 2012, demostró que el emotiv era el dispositivo mejor calificado pues cumplía con las mediciones pertinentes sobre los pensamientos de las personas, en este estudio se utilizaron 4 diferentes dispositivos: G.tec producido en Austria, EEG Powerlab Data Acquisition System producido en Nueva Zelanda, Emotiv EPOC EEG producido en Australia y Neurosky Mindwave elaborado en Estados Unidos. El experimento trato de la pronta rehabilitación en pacientes con amputación en alguna de sus extremidades para medir la sensación de movimiento con la prótesis virtual desarrollada, nos relata Adelson (2011).

En México se realizó un estudio en Guanajuato en el año 2012, un paciente masculino de 18 años, con parálisis cerebral, logro por primera vez en su vida controlar un video juego y mover mentalmente un vehículo virtual debido a la lectura de datos neuronales del emotivEPOC, este experimento fue posible gracias al consejo Zacatecano de ciencia, tecnología e innovación pues pudo emitir patrones de señales que se pudieron percibir, relata Bigurra (2015).

Actualmente se tienen pocas investigaciones sobre el estudio del comportamiento de las ondas cerebrales durante un proceso de ensamble al escuchar música.

2. Desarrollo

Las etapas que involucran la siguiente investigación son: materiales, diseño del experimento, realización del experimento y análisis de los resultados. A continuación, se desglosa de manera clara cada una de las etapas, comenzando por los materiales.

- ***Materiales.***

Se tomará en cuenta la siguiente lista de los materiales requeridos para el desarrollo de la investigación como se explica a continuación:

-EmotivEpoc (Figura1), Software Emotiv Pro (Emotiv 2019), Software EEGlab (Delorme and Makeig, 2004) que se encuentra dentro del Software Matlab (Matlab R2015), carro de LEGO #31506 de 112 piezas, un reproductor de música con lista de canciones clásica y merengue, tres estaciones de trabajo con ayudas visuales, computadora portátil: Lap top y carta consentimiento.



Figura 1. EmotivEpoc (Emotiv Epoc, 2019).

- ***Diseño del experimento***

El diseño en esta investigación se baso en un experimento controlado, el cual se refiere a la comparación de resultados de un mismo grupo de personas. Se hizo un diseño de experimento en minitab completamente al azar con tres replicas, para elegir aleatoriamente a la persona y el tipo de sonido que debe escuchar para realizar el ensamble. La realización del experimento se efectuó en el orden que se obtuvo en el diseño de minitab ya sea el ensamble sin la variable independiente (la música), utilizando la música clásica de fondo o la música merengue; de esta manera se hicieron las mediciones de las ondas cerebrales.

La lista de canciones para la investigación fue: Ascanio in Alba, K, 111: Ouverture, Sonata para piano núm. 11 en A, K. 331, Mov. 3 de Mozart, las cuatro estaciones de Vivaldi, I. Allegro Moderato y Adagio non troppo, así como, Duena del swing, El bailar del beeper, Zumbalo, Engatusado y A que te pego mi manía, la candelosa y Detelengao.

- ***Realización del experimento***

En esta investigación se contó con 6 personas, jóvenes universitarios de entre 18 y 23 años, estudiantes del Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Juárez, siendo en su mayoría varones, ya que la herramienta Emotiv Epoc se amolda mejor a la cabeza de un hombre teniendo más exposición al cuero cabelludo y facilitando el uso del material, también tomando en cuenta que se pretende eliminar la variabilidad de ruido en los datos.

Las personas aleatoriamente ensamblaron un promedio de 15 carritos de lego teniendo este un tiempo de ensamble de 2 minutos cada uno, sin música, con música clásica y con música merengue, se les colocó el Emotiv Epoc el cual registró el comportamiento de las ondas cerebrales.

Teniendo de fondo una lista de música con un volumen medio equivalente a 55 decibeles los cuales comenta Guerra (2016), son los permitidos para una mejor comodidad del tímpano y los normales utilizados en una conversación entre dos personas según el ministerio de salud, tomando el registro de las ondas durante 30 minutos por persona en cada una de las etapas con un volumen medio de la música con los decibeles anteriormente mencionados.

- *Análisis de resultados preliminares.*

Por último, se compararon las diferentes intensidades de las ondas de cada uno de los participantes con los 2 estilos de música, así como sin música en las gráficas de densidad de espectro de potencia. Cabe aclarar que esta investigación esta en proceso y todavía hay que tratar toda la información obtenida en el experimento, mediante el Software Matlab e EEGLab y hacer un análisis estadístico más completo.

3. Resultados Preliminares

De manera aleatoria se realizó el ensamble de un producto de legos en la estación 2, cada persona hizo el ensamble por un período de tiempo de media hora sin escuchar ningún tipo de música, escuchando música clásica y escuchando música merengue. Esto con la finalidad de ver cual es el comportamiento de las ondas cerebrales. Las grabaciones del EEG fueron analizadas en el dominio de frecuencias. Se utilizó la herramienta EEGLab que pertenece al Software Matlab para obtener la Densidad del Espectro de Potencias (DEP). Se muestra en la figura 2, la DEP de una persona trabajando sin escuchar música; en la figura 3, la DEP escuchando música clásica; en la figura 4, la DEP escuchando música merengue.

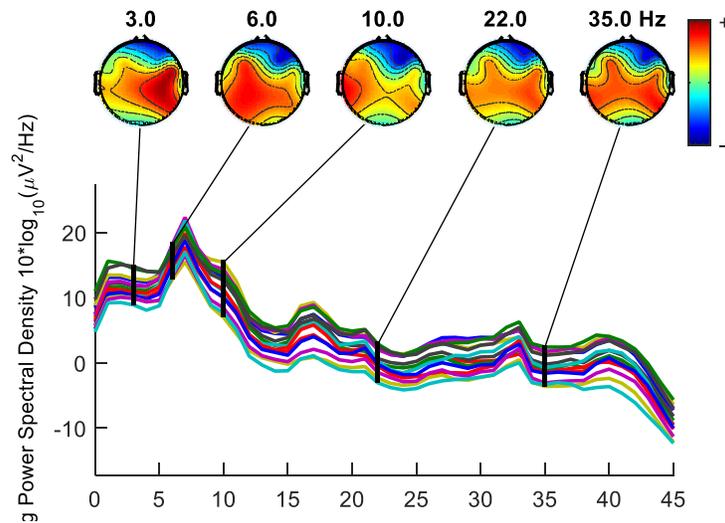


Figura 2. DEP de una Persona Trabajando sin Escuchar Música

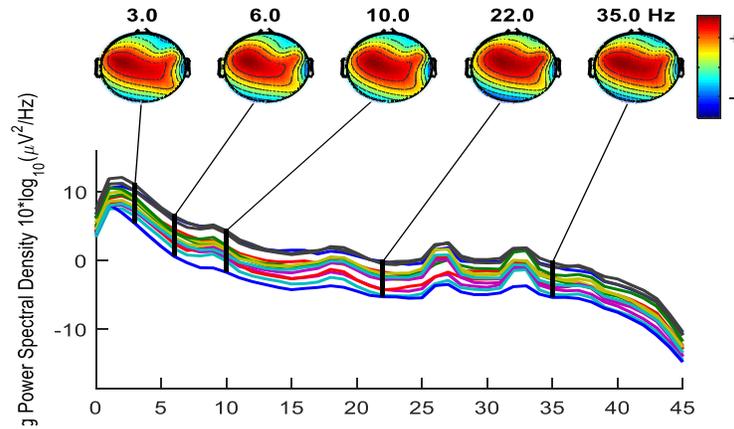


Figura 3. DEP de una Persona Trabajando Escuchando Música Clásica

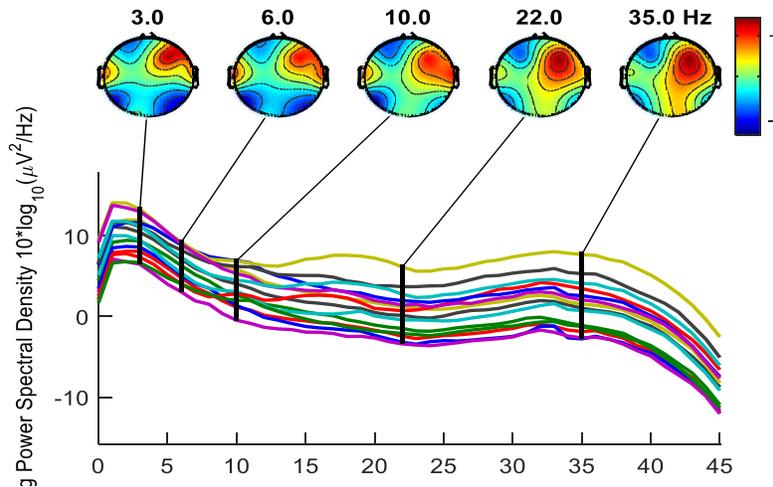


Figura 4. DEP de una Persona Trabajando Escuchando Música Merengue

4. Conclusiones Preliminares

En la realización del ensamble del producto con legos sin escuchar música, la gráfica de DEP se puede observar en la figura 2; teniendo como resultado que en el área central y parietal del hemisferio derecho estuvo más activa en la onda Delta, el área Parietal y Central del hemisferio izquierdo estuvo más activa en la onda Theta, el área Temporal del hemisferio izquierdo estuvo más activa en la onda Alfa, el área Parietal y Central estuvo más activa en los dos hemisferios en la onda Beta y Gamma.

En el ensamble del producto con legos escuchando música clásica, la gráfica de DEP se puede observar en la figura 3; obteniéndose como resultado más actividad en el área Central y Parietal de los dos hemisferios en todas las ondas. Se observa que en todas las ondas cerebrales Delta, Theta, Alfa, Beta y Gamma se obtuvo el mismo comportamiento, no hubo cambios en las regiones del cerebro.

En el ensamble del producto con legos escuchando música merengue, la gráfica de DEP se puede observar en la figura 4; teniendo como resultado que hubo más actividad en la parte Frontal y Parietal del hemisferio derecho en la onda Delta, también existiendo más actividad en la parte Frontal y Temporal en las ondas Theta y Alfa, en el área Frontal y Central del hemisferio derecho en la onda Beta y Gamma se puede ver que hubo más actividad.

Cómo conclusión preliminar; se puede observar en la gráfica 3 de la DEP que representa escuchar la música clásica, no existieron cambios de las ondas cerebrales en las regiones del cerebro. En cambio al trabajar sin música y con la música merengue las ondas cerebrales si tuvieron diferentes regiones del cerebro dónde hubo más intensidad de las ondas cerebrales.

5. Referencias

- Adelson, M. (2011). Emotiv experimenter An experimentation and mind-reading aplicacion for the Emotiv EPOC. Undergraduate Thesis, Princeton University.
- Almirall, P. (2000). Ergonomía cognitiva apuntes para su aplicación en trabajo y salud. La habana Cuba: Ciencias sociales.
- Bigurra, V. (2015). Un sistema que incorpora lectura de encefalografía permitirá que personas con parálisis cerebral severa se comuniquen de una manera básica y entendible. México News.
- Carvajal Carranza & Nurinda (2016). Tesis: Gestión de Recursos Humanos: Ergonomía en el Puesto de Trabajo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua.
- Chávez, V., Torres, D., Herrera, J., & Henández, A. (2016, Vol.3 No.7 107). Adquisición y análisis de señales electroencefalográficas utilizando el dispositivo Emotiv EPOC. Revista de Tecnología e Innovación Vol.3 No.7 107.
- Delorme A. and Makeig S. (2004) EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. Journal of Neuroscience Methods 134:9-21
- Emotiv (2019) EmotivPro Software. View HYPERLINK "<https://www.emotiv.com/emotivpro/>"
- Emotiv EPOC (2019) EMOTIV EPOC+ 14 Channel Mobile EEG. View HYPERLINK "<https://www.emotiv.com/product/emotiv-epoc-14-channel-mobile-eeeg/>"
- Gardner, H. (2001). Estructuras de la mente. La teoría de las inteligencias múltiples. México: Fondo de Cultura Económica
- Guerra, Alonso (2016). Decibeles (Db) en graduaciones y fiestas. Milenio.
- Lauretti, P., Villalobos, E., Gonzalez, J. (2007). Programa de Motivación en el Aula: Una Experiencia para el Desarrollo del Docente en Ejercicio. México, REMO Vol.4, Núm.10.
- Llano, M. (2014). Neuroergonomía cognitiva. Prevention World, PW Magazine 50.
<https://prevention-world.com/actualidad/articulos/neuroergonomia-cognitiva/Matlab>
- R2015aCopyright 1984-2005 The MathWorks, Inc.
- O'Donnell, L. (1999). Music and the brain. <http://www.cerebromente.org.br/n15/mente/musica.html>.
- Orozco, María Teresa (2013). Psicología y Música. México: Editorial Grupo 5.
- Ostrander, Sheila, Schroeder Lynn, Ostrander Nancy (1989). Super-aprendizaje. Nuevos métodos de aprendizaje, rápido sin agobios ni tensiones, para potenciar su memoria y mejorar su eficacia profesional y deportiva. Buenos Aires. Editorial: Grijalbo.
- Romo V. Marta (2014). CEREBRO Neurociencia para la vida cotidiana. Barcelona: Alienta Editorial.
- Sanei, Saeid (2013). Adaptive Processing of Brain Signals, John Wiley & Sons, Ltd, British Library.
- Vinueza, A. (2016). Tesis: Sistema para monitoreo de ondas cerebrales en estudio de pulsos binaurales con ritmo theta sobre los procesos cognitivos y emocionales. Quito, Universidad San Francisco De Quito Usfq.

6. Notas Biográficas

La Ingeniera Lindsay Fernanda Nava Oneralas estudió la carrera de Ingeniería industrial de 2005 al 2010, es egresada del Instituto Tecnológico De Ciudad Juárez con especialidad en Logística y cadena de suministros, actualmente esta estudiando la maestría en Ingeniería Industrial en la misma institución. Trabaja como docente en Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Juárez, cuenta con diversos cursos como: certificación en greenbelt y minitab, entre otros.

La Maestra Ana Isela García Acosta estudió la carrera de Ingeniería industrial, curso la maestría en Ingeniería industrial y actualmente labora como docente investigadora en el Tecnológico Nacional de México campus Ciudad Juárez, es asesora de diversos estudiantes de la Institución y esta cursando el último semestre del Doctorado en Ciencias en Ingeniería.

El Doctor Jorge De La Riva Rodríguez, estudió la carrera de Ingeniería Industrial Químico, curso la Maestría en Ciencias en Administración, posteriormente se graduó de Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial. Cuenta con un Diplomado en Investigación de Operaciones y Análisis de Sistemas en Reino Unido, actualmente es Investigador en el TecNM campus Ciudad Juárez.

Evaluación de la calidad sensorial de limón persa en cajas de cartón corrugado pretratadas con tratamientos superficiales activos

Estudiante de maestría en ingeniería industrial, Daniela Guadalupe Reyes Méndez¹, Docente-investigador del Instituto Superior de Misantla, Gustavo Martínez Castellanos², Estudiante de ingeniería Bioquímica Laura Lizbeth Martínez Parra³.

Daniela Guadalupe Reyes Méndez, Ingeniero en Industrias Alimentarias, es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 182t0777@itsm.edu.com.mx

² El Doctor en Biotecnología. Gustavo Martínez Castellanos, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gMartínezc@itsm.edu.mx.

³ La estudiante Laura Lizbeth Martínez Parra, es estudiante en Ingeniería bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0406@itsm.edu.com.mx

Resumen— En esta investigación se elaboró un tratamiento superficial activo para disminuir los cambios sensoriales de *Citrus latifolia* en cajas de cartón corrugadas dimensionalmente similares a las de exportación. Se evaluó mediante una escala hedónica de 6 grados el índice de daño y los cambios de color en limón persa, se almacenaron a temperatura ambiente de (27 ± 3 °C). El tratamiento superficial activo se aplicó mediante la técnica de cepillado a cajas de cartón corrugado en 9 tratamientos, utilizando niveles alto, medio y bajo de 2 elementos activos (A y B) combinados con quitosano. La pérdida de color fue menor en los frutos almacenados en las cajas pretratadas con el tratamiento con nivel alto de A y nivel bajo de B mientras que para el índice de daño fue el tratamiento con nivel medio de A y nivel bajo de B. El trabajo presentado se encuentra en desarrollo, por lo que no pueden establecerse por el momento las sustancias o concentraciones utilizadas, aun así, es una propuesta interesante para generar de manera fácil, rápida y eficiente un empaque activo sobre las cajas ya utilizadas en la industria de exportación de limón persa.

Palabra(s) clave— *Índice de daño, maduración, limón persa, escala hedónica*

Abstract— In this research, an active surface treatment was developed to reduce the sensory changes of *Citrus latifolia* in corrugated cardboard boxes dimensionally similar to those exported. The damage index and color changes in Persian lemon were evaluated using a hedonic scale of 6 degrees and stored at an ambient temperature of (27 ± 3 °C). The active surface treatment was applied by means of the brushing technique to corrugated cardboard boxes in 9 treatments, using high, medium and low levels of 2 active elements (A and B) combined with chitosan. The loss of color was less in the fruits stored in the pretreated boxes with the treatment with high level of A and low level of B while for the damage index was the treatment with medium level of A and low level of B. The work presented is under development, so that the substances or concentrations used can not be established at the moment, even so, it is an interesting proposal to generate in an easy, fast and efficient way an active package on the boxes already used in the Persian lemon export industry.

Translated with www.DeepL.com/Translator

Key words— *Damage rate ripening, Persian lemon, hedonic scale*

1. Introducción

En la actualidad, la demanda creciente por parte de los consumidores de alimentos fáciles de preparar o de consumir, seguros, naturales, con propiedades biológicas más allá de las nutricionales, y todo ello sin renunciar a las características sensoriales de frescura del alimento, han motivado a los investigadores e industriales a desarrollar nuevas tecnologías de procesado y conservación conocidas como “procesado mínimo”. En los últimos 10 años. se han realizado numerosos estudios científicos que demuestran que los tratamientos superficiales activos son una herramienta útil para mantener la calidad de los alimentos vegetales mínimamente procesados debido a que forman una barrera semipermeable que reduce la pérdida de agua y de solutos, controlan el intercambio gaseoso incluida la velocidad de respiración (O_2 y CO_2) y la emisión de etileno, y disminuyen el riesgo de contaminación microbiológica, los desórdenes fisiológicos y los cambios bioquímicos relacionados con reacciones oxidativas (pardeamiento enzimático) y la pérdida de firmeza, se ha intensificado la búsqueda por desarrollar alternativas amigables con el ambiente que disminuyan las pérdidas postcosecha y prolonguen la vida de anaquel de las frutas y hortalizas.

El limón es considerado dentro de los productos hortofrutícola más importantes en todo el mundo, es un fruto no climatérico que actualmente tiene gran importancia comercial en el país porque es un cítrico de exportación nacional, teniendo como mayor mercado potencial a Estados Unidos y se cultiva principalmente en el estado de Veracruz con una producción de 658,282 toneladas anuales. Cuenta con una producción a nivel nacional de 2, 513,390.68 toneladas anuales y ocupa el segundo lugar a nivel mundial en producción” [67]. Este cítrico presenta pérdidas en postcosecha hasta de un 33.38% del total de la producción y el deterioro puede ser ocasionado por factores físicos o biológicos. Se ha utilizado tecnologías para conservar la vida de anaquel del limón persa, tal es el caso de tratamientos químicos, los cuáles controlan el desarrollo de microorganismos, pero no mantienen la calidad del fruto. Las soluciones de quitosano forman películas semipermeables con efecto antifúngica y, por lo tanto, tienen potencial para controlar enfermedades postcosecha y conservar los productos vegetales frescos. Para reducir el carácter hidrofílico de las películas de quitosano se desarrollaron formulaciones empleando como fase lipídica en diferentes proporciones, evaluando el efecto de los tratamientos superficiales activos formulados en la conservación en fresco del limón persa (*Citrus latifolia*) almacenado a temperatura ambiente.

2. Desarrollo

2.1. Preparación del quitosano

El quitosano se preparó siguiendo la metodología de (Martínez, 2009). Se utilizó quitosano de bajo peso molecular (75-85 de grado de desacetilación; 200-800 cps). Se adicionaron 3 g de quitosano a 300 mL de agua destilada y gradualmente se adicionaron 1.455 mL de ácido acético 0.1 N. La solución se mantuvo en agitación durante 4 h.

2.1.1 Preparación de las formulaciones

Las formulaciones se realizaron mediante un diseño factorial para estudiar los efectos en una respuesta o salida de al menos dos variables o factores cuando éstos cambian de valor simultáneamente. Se utilizaron 2 factores (A y B) y 3 niveles (Alto, Medio y Bajo). Los tratamientos resultantes fueron evaluados mediante la aplicación de 9 tratamientos superficiales activos ajustados con 2 elementos activos (Tabla 1) para mejorar las capacidades del tratamiento superficial activo, pero que no estaban destinados como tratamientos poscosecha, por lo que se les consideró inertes para los limones.

A Nivel	B Nivel	TRATAMIENTO
BAJO	BAJO	TA
BAJO	MEDIO	TB
BAJO	ALTO	TC
MEDIO	BAJO	TD
MEDIO	MEDIO	TE
MEDIO	ALTO	TF
ALTO	BAJO	TG
ALTO	MEDIO	TH
ALTO	ALTO	TI

Tabla 1.-Diseño de los grupos experimentales

2.2 Aplicación del tratamiento superficial activo en las cajas de cartón corrugado

Para el diseño experimental se seleccionaron frutos de limón persa uniformemente de acuerdo con el color, tamaño, forma y ausencia de daño por enfermedades microbianas e insectos. Se utilizaron cajas de cartón corrugado de 10 Libras, las cuales se les aplicó el recubrimiento de quitosano durante 3 minutos, mediante la técnica de cepillado. Tras la aplicación se dejaron secar en condiciones ambientales de laboratorio durante 2 h y posteriormente se colocaron en un área limpia bajo condiciones ambientales de (27 ± 3°C) y de H.R. de 85% para su análisis.

2.2.1 Material Vegetal

El limón persa se recolectó en el Rancho “El hormigal” ubicado en María de la Torre en el Municipio Martínez de la Torre y se encuentra en las coordenadas, longitud (dec): -96.995833, latitud (dec): 20.127778 a 40 metros del nivel del mar. Los frutos fueron cortados con estado de madurez fisiológica a una temperatura ambiental de 30°C y fueron almacenados a una temperatura de 25°C. Posteriormente los frutos fueron transportados al laboratorio de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

2.3 Evaluación del índice de maduración y de daños

El índice de maduración se evaluó visualmente inmediatamente al comenzar el experimento de almacenamiento con temperatura ambiente de 27 ± 3°C y humedad relativa de 85%, para lo que se empleó la tabla de madurez de 6 grados (Arévalos, 2016). El índice de daño fue clasificado de acuerdo con el porcentaje de deterioro de la superficie del Limón persa de acuerdo con lo reportado por Martínez (2009). Para procesar los resultados, los datos de índice de daño se transformaron a una escala numérica (ausencia=0, 1-10% = 1; 11-20% = 2; 21-30% = 3; 31-40% = 4; 41-50% = 5 y ≥ 51% = 6. Para el análisis de los cambios de color de la cáscara de los frutos de lima persa se utilizó una escala de maduración (Figura 1) de acuerdo con lo reportado por Arévalos (2016), con lo cual se determinaron los parámetros numéricos de 0: verde oscuro, 1: verde, 2: verde claro, 3: pocos visos amarillos, 4: muchos visos amarillos, 5: amarillo verdoso y 6 amarillo.



Figura 1: Escala de maduración de Lima Persa (*Citrus latifolia*)
Fuente: (Arévalo, 2016)

Ambas escalas hedónicas se evaluaron sobre 3 unidades experimentales de 9 frutos cada una, muestreadas aleatoriamente en 9 grupos del diseño experimental previamente mencionado y se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación (1)

$$\sum_{i=1}^{i=n} = (1 xn_1) + (2 xn_2) + (3 xn_3) + (4 xn_4) + (5 xn_5) + (6 xn_6) /n$$

En donde n se refiere al número total de frutos estudiados:

- n_1 = número de frutos en el grado 1
- n_2 = número de frutos en el grado 2
- n_3 = número de frutos en el grado 3
- n_4 = número de frutos en el grado 4
- n_5 = número de frutos en el grado 5
- n_6 = número de frutos en el grado 6

3. Resultados

Los frutos evaluados presentaban madurez fisiológica adecuada, la coloración era desde verde olivo a verde claro de tamaño calibre 170 a 200, además venían con pocos defectos de calidad tales como cicatrices y algunas manchas mínimas de sol (soleado), que son imperfecciones comunes provenientes de la huerta o daños mecánicos. Para la evaluación se utilizaron cajas de cartón corrugado de exportación de capacidad de 10 libras con dimensiones de 33 cm de largo x 26 cm x 12 cm de altura de la marca Lime addict y Limes fresh.

La aplicación del tratamiento superficial activo mostró dificultades iniciales que fueron solucionadas mediante la aplicación de 2 elementos estructurales que no afectaban la calidad poscosecha de los frutos, debido a que los recubrimientos convencionales tradicionalmente son aplicados mediante aspersión, brochas o

inmersión sobre la cáscara de los frutos. En el presente estudio el objetivo fue evaluar el efecto de los tratamientos aplicados en las cajas de cartón corrugado para simular las condiciones de almacenamiento con un tratamiento superficial activo. Por lo tanto, este tratamiento puede ser una alternativa para el almacenamiento de Limón persa y con ello retardar la maduración y senescencia de los frutos debido a que actualmente dentro de los procesos de conservación de limón persa solo se recubre la fruta con recubrimientos a base de cera por técnicas de inmersión y cepillado.

Además de los cambios de color durante la etapa postcosecha de los frutos, existen otros factores que dañan la calidad de los frutos siendo los procesos metabólicos de naturaleza enzimática, como la síntesis de pigmentos y la degradación de las paredes celulares que deterioran el fruto en la etapa postcosecha.

La evaluación del índice de maduración de los frutos de Limón persa con los 9 tratamientos almacenados a $27 \pm 3^\circ\text{C}$ se muestran en la Figura 2. Los primeros 3 tratamientos (E, H y D) retardaron la pérdida de la clorofila, que está relacionada con la síntesis de etileno. Es importante recordar que es fundamental mantener las condiciones óptimas de almacenamiento del limón persa dentro de su cadena de suministro para que durante su transporte se garantice que el producto en fresco mantenga los estándares de calidad exigidos por el cliente. Por otra parte, los otros tratamientos mostraron una limitada capacidad de anaquel con respecto a las características sensoriales del limón persa, estableciendo que el compuesto A fue el que influyo de manera positiva en el retardo de la maduración. La literatura marca que los tratamientos superficiales activos son formulados con polisacáridos, lípidos y proteínas y tienen como función alargar el tiempo de vida de anaquel. Con respecto al experimento realizado, aunque no se corrió a condiciones de almacenamiento óptimas, los limones mantuvieron las características sensoriales.

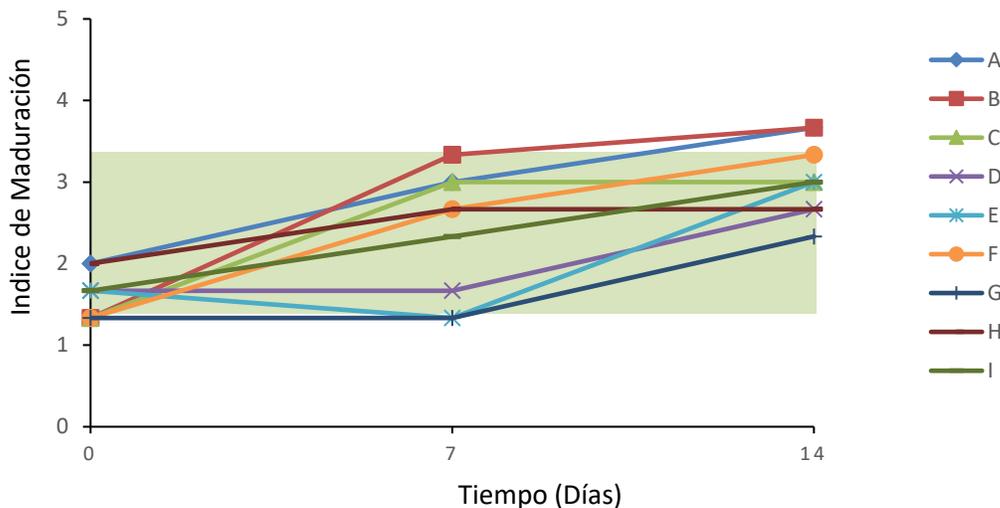


Figura 2: Evaluación del índice de maduración (color) de los frutos de Limón persa (*Citrus latifolia*) almacenados a $27 \pm 3^\circ\text{C}$, 85 % H.R. durante 7 días.

En cuanto a los tratamientos propuestos, se observó que el que presentó menor cambio de coloración fue el tratamiento G seguido por los tratamientos E y D, que tenían niveles medios y altos del elemento activo A utilizado para el pretratamiento de las cajas de cartón corrugados y que retardó el efecto de la maduración. Por otra parte, los cambios de color de los tratamientos B, A, C fueron superiores, debido a que las cajas donde fueron almacenados fueron pretratadas con los niveles más bajos del elemento activo A. En la Figura 3 se muestra una comparación del tratamiento que mostró la mejor capacidad para retardar el índice de maduración, en donde puede observarse cambios mínimos de pérdida de clorofila.



Figura 3: Comparación del tratamiento con la mejor capacidad para retardar el índice de maduración (color) de los frutos de Limón persa (*Citrus latifolia*) almacenados a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 85 % H.R. durante 7 días.

En la presente investigación los tratamientos evaluados sobre los frutos de limón se realizaron durante 14 días de almacenamiento, que es el tiempo adecuado a temperatura ambiente para revelar daños mecánicos y de superficie de los frutos por fuentes de origen (Álvarez, 2012). En el caso de la evaluación del índice de daño (Figura 4), puede observarse que el tratamiento TI presentó mayor índice de daño lo que se puede atribuir a que la combinación de los elementos activos no fue eficiente en retrasar la aparición de los daños en la superficie del limón. Por otra parte, el tratamiento que presentó el menor índice de daño durante los 7 días de almacenamiento fue el tratamiento B en comparación con los otros 7 tratamientos, ya que todo tuvieron valores ≥ 2 , efecto que debió estar estrechamente relacionado con el índice de maduración.

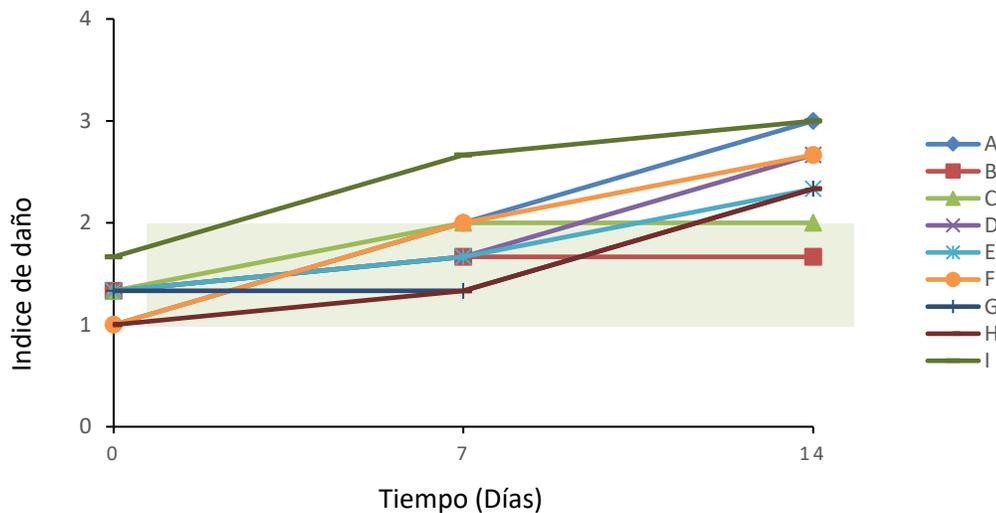


Figura 4: Índice de daño de limón persa almacenado a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 14 días con los tratamientos superficiales activos

Son muchos los factores que pueden afectar a los frutos frescos durante el periodo de postcosecha. La mayoría de ellos son aspectos intrínsecos al ciclo de vida de los frutos, como la respiración o la producción de etileno. Sin embargo, también puede haber factores externos que les afecten y deterioren. Los daños sufridos durante la precosecha y la manipulación y el estrés posterior aceleran el ritmo de deterioro de limón persa y lo hacen vulnerable a la descomposición por organismos patógenos lo cuales causan graves pérdidas por descomposición bacteriana, por lo que deben subsanarse curando los productos antes de almacenarlos. Actualmente se emplea el curado el cuál un proceso de regeneración de las heridas. El fruto de limón es susceptible a pérdidas de agua por transpiración, diversos daños mecánicos, rozaduras etc. Los tipos de daños fisiológicos pueden clasificarse en daños por frio, daños por altas temperatura es decir la exposición a temperaturas extremas y daños por bajos niveles de oxígeno.

4. Conclusiones

La aplicación del tratamiento superficial activo utilizando niveles medios del elemento activo mantuvo los parámetros de color en el proceso de maduración en los tratamientos G, D, E mientras que las cajas tratadas con los tratamientos B, E, G mostraron que los frutos almacenados a $27\pm 3^{\circ}\text{C}$ presentaron menor índice de daño después de 14 días de almacenamiento. Por lo tanto, de acuerdo con la evaluación sensorial realizada el mejor tratamiento para retardar la maduración fue un nivel alto de A y bajo de B en comparación con el mejor tratamiento para el menor índice de daño fue con nivel bajo de A y medio de B. cabe mencionar que el trabajo presentado se encuentra en desarrollo como parte de un desarrollo tecnológico, por lo que no pueden establecerse por el momento los elementos participes en la formulación propuesta o sus concentraciones, sin embargo, es una propuesta interesante para generar de manera fácil, rápida y eficiente un empaque activo sobre los empaques ya utilizados en planta para exportación de limón persa.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de la estudiante de posgrado Daniela Guadalupe Reyes Méndez con número de becaria CONACyT 913287 para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

5. Referencias

- Arèvalo, P. A. (2016). Caracterización fisicoquímica en poscosecha de diferentes materiales de lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) para exportación. *Revista Colombiana de ciencias hortícolas*, 11.
- Camo, J. B., & Roncales, P. (2008). *Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging*. *Meat Science*, 80(40):1365-1370.
- Coma, V., Marcial-Gros, A., Garreau, S., Copinet, A., Salin, F. Y Deschamps, A. (2002). *Edible Antimicrobial Films Based on Chitosan Matrix*, *J. Food Sci.*, 67 (3):1162 -1169
- Guzmán, C. R. (2019). Efecto del quitosano en el control de *Alternaria sp.* en plantas de jitomate en invernadero. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológica*, 8.
- Martínez, C. G. (2009). “Uso de bacterias lácticas en recubrimientos de quitosano para la conservación poscosecha de litchi y rambután”. Universidad Autónoma metropolitana. Tesis.
- Molina, J. E. (2010). “*Propiedades químicas y antimicrobianas de recubrimientos de quitosano enriquecidos con aceite esencial de citrus latifolia*”. Misantla.
- SIAP – Servicio de información agroalimentaria y pesquera – (2017). Cierre de producción agrícola por cultivo. Consultado en octubre, 2017. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=28

6. Notas Biográficas

La **Ing. Daniela Guadalupe Reyes Méndez** es estudiante del tercer semestre de Maestría en Ingeniería Industrial. Terminó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería en Industrias Alimentarias en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

El **Dr. Gustavo Martínez Castellanos** es Dr. en Biotecnología por la UAM, Iztapalapa, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **estudiante Laura Lizbeth Martínez Parra** es estudiante del séptimo semestre de la Licenciatura de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Clasificación de Inventarios ABC para una refaccionaria de autopartes.

Sthefany Alvarez Vargas, MII.¹, MIA. Luis Enrique García Santamaría², Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta³, MC. Sandra Guadalupe García Aburto⁴, Dra. Fabiola Sánchez Galván⁵

¹Sthefany Álvarez Vargas, II, es Ingeniería Industrial actualmente es estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: sthefany_alvar@hotmail.com

² El MIA. Luis Enrique García Santamaría, es profesor Investigador del área de licenciatura y posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: legarcías@itsm.edu.mx

³ El Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, es profesor investigador del área de posgrado e investigación en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: ramelendeza@itsm.edu.mx

⁴La MC. Sandra Guadalupe García Aburto, es profesora Investigadora del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: ssgarcíaa@itsm.edu.mx

⁵La Dra. Fabiola Sánchez Galván es profesora Investigadora del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: fsgalvan01@gmail.com

Resumen— El presente artículo se refiere a un estudio realizado en una empresa de refacciones de autopartes ubicada en el estado de Veracruz, Ver. Actualmente presenta problemáticas relacionadas con el control de inventario puesto que no cuenta con políticas ni procedimientos para el control del mismo, no dispone de una clasificación de mercancías, debido a que solo considera a los artículos de más alto valor como importantes y éstos son los que se resguardan, posee un deficiente registro de ventas dado a que solo se registra el 40% de la totalidad de las mismas. Por lo que se propone una metodología de tres etapas para mejorar las actividades internas de la empresa, estas etapas comprenden el análisis de la demanda, una clasificación ABC multicriterio para organizar el inventario.

Palabra(s) clave— Inventario, Análisis de Demanda, Clasificación ABC.

Abstract— This article refers to a study carried out in a spare parts company located in the state of Veracruz, Ver. It currently presents problems related to inventory control since it does not have policies or procedures to control it, it does not have of a classification of goods, because it only considers the articles of higher value as important and these are those that are protected, has a poor sales record given that only 40% of all of them are registered. Therefore, a three-stage methodology is proposed to improve the company's internal activities. These stages include demand analysis, a multi-criteria ABC classification to organize the inventory.

Key words – Inventory, Demand analysis, ABC classification.

1. Introducción

El inventario representa una inversión monetaria significativa para la empresa, éstas lo ven como una inversión necesaria para asegurar la venta de productos o la continuidad de la producción y con ello proporcionar un buen servicio al cliente (Corona, 2002).

Laveriano propone que el manejo eficiente del inventario trae amplios beneficios al elevar el nivel de calidad del servicio al cliente, reducir la pérdida de venta por falta de mercancía, mejorar el flujo de efectivo de la empresa, identificar la estacionalidad de los productos, detectar artículos de lento movimiento, vigilar la calidad de los productos, reconocer robos y mermas, optimizar el espacio del almacén, y controlar las entradas y salidas de las mercancías [69].

Castro, J. describe que un sistema de control de inventario es el mecanismo o proceso a través del cual una empresa lleva la administración eficiente del movimiento y almacenamiento de las mercancías y del flujo de información y recursos que surgen a partir de esto (Catro, 2014). (Vélez & Pérez, 2013) mencionan que el control eficiente los inventarios puede tener un gran impacto en la cadena de valor de la compañía. Así mismo, (Espinel, 2011) establece que los inventarios constituyen el aparato circulatorio dentro de las empresas de tal forma que el control interno sobre los mismos posee una importancia marcada, pues las compañías de gran éxito tienen especial cuidado en proteger sus inventarios.

El control del inventario consiste en planear y coordinar todas las actividades relacionadas con el aprovisionamiento, compra, almacenamiento, control, movimiento, manipulación, y estandarización de los bienes o productos de una compañía, con la finalidad de reducir los costos y eficientar el movimiento y manejo de los productos en todas sus etapas (Castellanos, S.F.). Para ello la existencia de las técnicas de control, y con

ellas determinar cuáles son los productos en que se debe centrar la empresa y que le permitan optimizar el funcionamiento de los inventarios (Méndez, 2005).

De acuerdo con (Collignon, 2012) la clasificación ABC es un método de categorización de inventario que consiste en la división de los artículos en tres categorías, A, B y C: Los artículos A son los más valiosos, mientras que los que pertenecen a la categoría C son los menos valiosos. La refaccionaria de autopartes fue fundada en el 2010 por iniciativa del señor Saúl Alvarez, cuyo objetivo fue crear una empresa que se encargara de comercializar artículos para automóviles. En éste momento presenta problemáticas relacionadas con el control de inventario, ya que no cuenta con políticas de recepción, almacenamiento, compra, venta y levantamiento de inventario, así mismo el 80% de los pedidos se realizan con base en faltantes y no por previsión, cuenta con un deficiente registro de ventas dado a que solo se registra el 40% de la totalidad de las mismas lo cual no le permite establecer una base para la toma de decisión de cómo, cuánto y cuando comprar.

2. Desarrollo

Método.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará la adaptación de la metodología de Toro et; al (2011), de acuerdo con las siguientes etapas:

- **Etap 1 Análisis de la demanda.**
- **Etap 2 Clasificación ABC.**

Etap 1: Se registrará la totalidad de las ventas, para graficar e identificar el tipo de distribución probabilística que poseen.

Etap 2: Se propone seguir los pasos del método de clasificación ABC ya que es un método flexible y adaptable a la situación particular del tipo de empresas en estudio (Parada, enero-junio 2009). Los pasos que incluye este método son:

1. Selección de parámetros para el análisis ABC tradicional por cada línea de artículos y construir con los resultados la matriz correspondiente a las zonas de clasificación.
2. Determinación de factores de ponderación por zonas de clasificación, con el porcentaje obtenido para cada uno de los parámetros en el análisis ABC tradicional.
3. Definición de intervalos, para la asignación de códigos selectivos A, B y C, de acuerdo a lo que se presenta en la tabla 1. El valor máximo (Vmax), corresponde a la suma total de la zona A, el valor mínimo (Vmin), corresponde a la suma total de los factores de la zona C y la amplitud de clase es la diferencia entre el valor máximo y mínimo dividido entre 3, estos valores se calculan a partir de los factores de ponderación obtenidos en el paso anterior.

Tabla 1. Intervalos para la asignación del código selectivo integral.

Código Selectivo	Fórmula
Integral A	$V_{max} - ACL < PK < V_{max}$
Integral B	$V_{min} + ACL < PK < V_{max} - ACL$
Integral C	$V_{min} \leq PK \leq V_{min} + ACL$

4. Asignación de la puntuación (Pk) al vector definido para cada línea en la matriz zonas de clasificación, utilizando la suma de los valores de los factores de ponderación por parámetro. Esta puntuación permite definir en qué intervalo de los establecidos anteriormente se ubica cada línea y determinar así el código selectivo correspondiente.

Resultados

En la etapa 1 se recolectó la información sobre los históricos de ventas para los artículos se obtuvo una venta de \$281,020.10, mientras que, en el segundo periodo las ventas fueron de \$131,214.80, dando un total de \$412,234.90.

Se utilizaron éstos mismos para analizar las ventas y con apoyo del software Arena se determinaron las distribuciones probabilísticas para cada una de las refacciones, cabe mencionar que, para los artículos de escape, depósito limpiaparabrisas, filtro limpiador de parabrisas, radiador y estéreo nissan 6.2” no pudo obtener su distribución dado a que no registraron ventas de stos artículos. En la tabla 2 se muestra el número de refacciones y las distribuciones.

Tabla 2. Distribuciones probabilísticas.

No. de refacciones	Tipo de distribución probabilística
24	Beta
4	Exponencial
1	Gamma
2	Lognormal
3	Normal
7	Poisson
8	Triangular
2	Uniforme
7	Weibull

En la etapa 2 se establecieron inicialmente los parámetros que relacionado con el caso de estudio representan mayor importancia en el control de los inventarios. Se realizó el análisis ABC tradicional para los parámetros existencias (E), demanda anual (D) e inventario medio (IM). Se construyó la matriz zonas de clasificación por parámetro para las 63 refacciones. En la tabla 3 se muestra esta relación.

Tabla 3. Matriz zonas de clasificación por parámetro.

Refacción	Parámetro		
	E	D	IM
Abrazadera de batería	B	A	B
Aceite para motor	A	A	B
Alternador	B	B	B
Amortiguador delantero	A	B	B
Amortiguador trasero	A	B	B
Anticogelante	B	A	B
Balata	A	B	B
Balero para generador	C	C	C
Banda	C	B	C
Batería	A	A	A
Bobina	A	A	A
Boquilla limpiaparabrisas	C	C	B
Botón de marcha	C	B	C
Bujía	A	A	B
Cable automotriz flexible	C	C	C
Chaveta	C	C	C
Cilindro trasero	C	C	C
Cinturón de seguridad	C	C	C
Condensador	C	B	C
Cople de Admisión	A	B	B
Depósito limpiaparabrisas	C	C	B
Destellador	C	C	C
Empaque de cabeza	C	B	C
Empaque de múltiple admisión	C	B	C
Empaque de tapas de punterías	B	B	B
Escape	A	C	C
Espejo retrovisor	C	C	C

Estéreo Nissan 6.2"	B	C	C
Estéreo Speed 6300 ugb	A	B	B
Filtro de aceite	C	A	B
Filtro de aire	B	A	A
Filtro de gasolina	B	B	A
Filtro de transmisión automática	B	A	B
Filtro limpiador de parabrisas	B	C	C
Focos	B	B	A
Fusibles	C	C	A
Guía para ventana	C	C	B
Interruptor	C	C	C
Limpiadores	A	A	C
Líquido limpiaparabrisas	B	B	C
Líquido para frenos	B	A	C
Manguera de freno	C	B	B
Manguera de radiador	B	B	C
Marcador de temperatura	C	C	C
Motor de ventana eléctrica	A	C	C
Neutral de seguridad	B	C	C
Pastilla de encendido	C	C	B
Perilla de cerradura	C	C	B
Platinos	A	B	B
Pomo de control	C	B	C
Pomo y manija para palanca	A	B	C
Radiador	B	C	B
Recuperador refrigerante de radiador	C	C	B
Reguladores	B	B	B
Relevador	B	B	B
Resorte universal	C	C	C
Sensor de temperatura	B	B	B
Soporte de batería	C	B	C
Soporte de espejo retrovisor	C	C	C
Tapón de combustible	C	C	B
Terminales	C	B	C
Termostato	A	A	A
Zapata trasera	C	C	C

Se determinaron los factores de ponderación por zonas de clasificación para cada uno de los parámetros, los valores obtenidos se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Factores de ponderación por zonas de clasificación.

Parámetro	Clasificación		
	A	B	C
Existencias	60.11	26.64	13.25
Demanda Anual	61.86	32.83	5.31
Inventario Medio	64.81	30.0982	5.0917

A partir de la tabla 4 se obtuvieron los intervalos para la asignación de códigos selectivos A, B y C como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Factores de ponderación por zonas de clasificación.

Código selectivo	Fórmula
Integral A	$132.4033 < Pk < 186.78$
Integral B	$78.0266 < Pk < 132.4033$
Integral C	$23.65 \leq Pk \leq 78.0266$

Una vez obtenidos los intervalos para la asignación de códigos selectivos A, B y C, se determinó la asignación de puntuación (Pk) para cada una de las refacciones. En la tabla 6 se muestran las asignaciones de la puntuación para los parámetros existencias (E), demanda anual (DA) e inventario medio (IM), así como la sumatoria final del valor Pk obtenida por cada refacción, así mismo, el código selectivo integral que representa.

Tabla 6. Asignación de la puntuación (Pk) y código selectivo integral.

Refacción	Pk	Código Selectivo Integral
Aceite para motor	152.0682	A
Batería	186.78	A
Bobina	186.78	A
Bujía	152.0682	A
Filtro de aire	153.31	A
Termostato	186.78	A
Abrazadera de batería	118.5982	B
Alternador	89.5682	B
Amortiguador delantero	123.0382	B
Amortiguador trasero	123.0382	B
Anticogelante	118.5982	B
Balata	123.0382	B
Cople de Admisión	123.0382	B
Empaque de tapas de punterías	89.5682	B
Estéreo Speed 6300 ugb	123.0382	B
Filtro de aceite	105.2082	B
Filtro de gasolina	124.28	B

Tabla 6. Continuación.

Refacción	Pk	Código Selectivo Integral
Filtro de transmisión automática	118.5982	B
Focos	124.28	B
Fusibles	83.37	B
Limpiadores	127.0617	B
Líquido para frenos	93.5917	B
Platinos	123.0382	B
Pomo y manija para palanca de cambios	98.0317	B
Reguladores	89.5682	B
Relevador	89.5682	B
Sensor de temperatura	89.5682	B
Balero para generador	23.6517	C
Banda	51.1717	C
Boquilla limpiaparabrisas	48.6582	C
Botón de marcha	51.1717	C
Cable automotriz flexible	23.6517	C
Chaveta	23.6517	C
Cilindro trasero	23.6517	C
Cinturón de seguridad	23.6517	C
Condensador	51.1717	C
Depósito limpiaparabrisas	48.6582	C
Destellador	23.6517	C
Empaque de cabeza	51.1717	C
Empaque de múltiple admisión	51.1717	C
Escape	70.5117	C
Espejo retrovisor	23.6517	C
Estéreo Nissan 6.2"	37.0417	C
Filtro limpiador de parabrisas	37.0417	C
Guía para ventana	48.6582	C
Interruptor	23.6517	C
Líquido limpiaparabrisas	64.5617	C
Manguera de freno	76.1782	C
Manguera de radiador	64.5617	C
Marcador de temperatura	23.6517	C
Motor de ventana eléctrica	70.5117	C

Tabla 6. Continuación.

Neutral de seguridad	37.0417	C
Pastilla de encendido	48.6582	C
Perilla de cerradura	48.6582	C
Pomo de control	51.1717	C
Radiador	62.0482	C
Recuperador refrigerante de radiador	48.6582	C
Resorte universal	23.6517	C
Soporte de batería	51.1717	C
Soporte de espejo retrovisor	23.6517	C
Tapón de combustible	23.6517	C
Terminales	76.1782	C
Zapata trasera	23.6517	C

3. Resultados

El análisis de demanda permitió identificar cuáles son las refacciones de mayor rotación, en la tabla 7 se muestra la relación de los artículos, mientras que, los de menor rotación son 5, escape, depósito limpiaparabrisas, filtro limpiador de parabrisas, radiador y estéreo Nissan 6.2”, sus precios fluctúan entre \$699.90 y \$2,499.90.

Tabla 7. Lista de refacciones más vendidas

Refacción	Precio
Filtro de gasolina	\$ 79.90
Filtro de aire	\$ 129.90
Filtro de aceite	\$ 69.00
Filtro de transmisión automática	\$ 299.00
Relevador	\$ 299.90
Bujía	\$ 129.00
Focos	\$ 4.50
Fusibles	\$ 4.50
Terminales	\$ 4.50
Cable automotriz flexible	\$ 4.50
Platinos	\$ 59.90
Limpiadores	\$ 200.00
Abrazadera de batería	\$ 90.00
Soporte de espejo retrovisor	\$ 19.90
Aceite para motor	\$ 89.90
Líquido para frenos	\$ 99.90
Anticogelante	\$ 89.90
Líquido limpiaparabrisas	\$ 54.90

El método de clasificación ABC multicriterio permitió categorizar las refacciones de la siguiente manera tabla 8

Tabla 8. Clasificación ABC Multicriterio.

Clasificación	No. de refacciones	Porcentaje de participación de refacciones	Porcentaje del valor total
A	6	17.56	31.49
B	21	44.65	50.69
C	36	37.79	17.82
Total	63	100	100

4. Conclusiones

La ventaja que ofrece la clasificación ABC multicriterio pone mayor atención en las refacciones que se clasifican como importantes para la empresa ya que no solo ve el valor del costo como lo hace la clasificación tradicional, sino que toma en consideración los criterios de existencias e inventario medio. Así mismo, el beneficio que ofrece en términos de gestión de inventario es generar políticas para el control del mismo. Se deberá poner mayor atención en los 6 artículos correspondientes a la clasificación A, se almacenarán en un lugar seguro y se deberá implementar mejores pronósticos de venta ya que es la mercancía que más demanda presenta, los 21 artículos B deberán monitorearse no de igual manera que los A, ya que presentan una demanda intermedia, mientras que, los 36 artículos C se recomienda que no se tenga más de dos unidades almacenadas ya que presentan poca demanda, ocupan mucho espacio dentro del almacén y generan costos de inventario excesivos.

5. Referencias

- Castellanos, A. (S.F.). Diseño de un sistema logístico de planificación de inventarios para aprovisionamiento en empresas de distribución del sector de productos de consumo masivo. *Tesis de Maestría*. San Salvador, El Salvador: Universidad Francisco Gavidia.
- Catro, J. (21 de Octubre de 2014). *www.corponet.com.mx*. Obtenido de Beneficios de un sistema de control de inventarios: Available: <http://blog.corponet.com.mx/beneficios-de-un-sistema-de-control-de-inventarios>.
- Collignon, J. (1 de Febrero de 2012). *Análisis ABC (Inventario) (1 er ed.)*. Obtenido de [www.loak.com:https://www.lokad.com/es/definicion-analisis-abc-\(inventario\)](http://www.loak.com:https://www.lokad.com/es/definicion-analisis-abc-(inventario))
- Corona, E. (2002). Análisis, administración y control de inventarios en empresas de manufactura (un enfoque conceptual). *Tesis de Grado*. Monterrey, Nuevo Leon, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Espinel, A. (2011). Modelo de gestión y control de inventarios de la empresa Ámbar Constructores de la ciudad de Quito. *Tesis de Grado*. Quito, Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Ecuador,.
- Méndez, D. (2005). Diseño e implementación de un sistema de administración de inventarios con base en su demanda en SACDA S.A de C.V. *Tesis de Maestría*,. México, D.F, Cd. de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Parada, O. (enero-junio 2009). Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de inventarios. *Cuadernos de administración Bogotá*, vol. 22, no. 38, 169-187.
- Vélez, R., & Pérez, G. (2013). Propuesta metodológica para la gestión de inventarios en una empresa de bebidas por el método justo a tiempo. *Saber, Ciencia y Libertad*, vol. 9 no. 1, 91-100.
- Willian, L. (enero-marzo 2010). Importancia del control de inventarios en la empresa. *Actualidad Empresarial*, Vol. 11, No. 2, 189-198.

Selección de beneficiarios de apoyo en sector gubernamental basada en técnicas bayesianas. Caso de estudio: Comisión Nacional Forestal

Luis Armando Rodríguez Aguilar, II.¹, MII., Gabriel Grosskelwing Núñez², Maestro en Inteligencia Artificial, Roberto Ángel Meléndez Armenta³, Maestro en Sistemas Computacionales, Jorge Cruz Salazar⁴

Luis Armando Rodríguez Aguilar, Ingeniero Industrial, es del posgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 182t0778@itsm.edu.mx.

² MII., Gabriel Grosskelwing Núñez, docente del posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx.

³ Roberto Ángel Meléndez Armenta, Maestro en Inteligencia Artificial, docente del posgrado en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ramelendeza@itsm.edu.mx.

⁴ Jorge Cruz Salazar, Maestro en Sistemas Computacionales, docente investigador en el área de Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jcruzs@itsm.edu.mx.

Resumen— La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), como un organismo público descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) tiene como objetivo desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes, programas y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable bajo las Reglas de Operación del Programa de Apoyo para el Desarrollo Forestal Sustentable. Este artículo propone usar una metodología para modelar la selección de candidatos para recibir apoyo que ofrece la CONAFOR mediante un método bayesiano. El reconocimiento de diferencias en la conectividad de variables puede ser usada para clasificar patrones (a)normales. Este método bayesiano se usa para clasificar, analizar y evaluar gráficamente la existencia de (in)dependencia en la distribución espacial, obteniendo y comprobando una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para facilitar la selección de los mejores candidatos para recibir el apoyo otorgado por la CONAFOR. Como resultado se obtiene la identificación de los criterios que se relacionan para ser catalogado como factible en el proceso de dictaminación, con una probabilidad de 72.3%. Perteneciendo a un municipio con nula y alta marginación y teniendo un proyecto técnicamente factible.

Palabra(s) clave— Árbol de decisión, Bayes, CONAFOR, Modelo de selección, Toma de decisión.

Abstract— The Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), as a decentralized public body of the Secretaría de Medio Ambiente and Recursos Naturales (SEMARNAT) aims to develop, promote and promote productive activities, conservation and restoration in forestry, as well as participate in the formulation of plans, programs and in the application of sustainable forest development policy under the Operating Rules of the Support Program for Sustainable Forest Development. This article proposes to use a methodology to model the selection of candidates to receive support offered by CONAFOR through a Bayesian method. The recognition of differences in the connectivity of variables can be used to classify normal (a) patterns. This Bayesian method is used to classify, analyze and graphically evaluate the existence of (in) dependence on spatial distribution, obtaining and verifying a decision support tool to facilitate the selection of the best candidates to receive the support granted by CONAFOR. As a result, the identification of the criteria that are related to be cataloged as feasible in the ruling process is obtained, with a probability of 72.3%. Belonging to a municipality with zero and high marginalization and having a technically feasible project.

Key words— Decision tree, Bayes, CONAFOR, Selection model, Decision making

1. Introducción

En la actualidad el planeta se encuentra inmerso en una gran cantidad de problemas ambientales, ante este contratiempo, México se encuentra en un proceso de construcción de estrategias y planes de manejo, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [1] se encarga de impulsar la protección, conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y biodiversidad. Con ayuda de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) [2] apoya a los dueños y poseedores de bosques, selvas, manglares, humedales y zonas áridas bajo las Reglas de Operación del Programa de Apoyo para el Desarrollo Forestal Sustentable [3].

Sin embargo, detectar posibles beneficiarios de cientos de solicitantes es una tarea difícil, es en estas reglas de operación en donde CONAFOR ha detectado que un subproceso (la dictaminación), el análisis y selección de los candidatos lo realiza un número pequeño del personal con el que cuenta y los resultados se requieren en un periodo de tiempo muy corto.

Para una maximización de beneficios y que el Programa de Apoyo sea exitoso, es crucial identificar correctamente a los posibles beneficiarios, en este sentido, se propone un método bayesiano (red bayesiana), el cual fundamenta su funcionamiento en la teoría de probabilidad para estimar la probabilidad de que a un solicitante sea beneficiario por la comisión. Estos puntajes son necesarios para calcular la medida útil en un entorno de predicción para comprender por qué los solicitantes son o no catalogados como factibles y elaborar las estrategias correspondientes para ampliar los beneficios. Las reglas divididas de la red bayesiana se optimizan de acuerdo con la métrica de elección para el uso de un método de optimización de partición recursiva de búsqueda y es utilizado para dar respuesta a planteamientos que impliquen decisión multicriterio.

Este artículo ha sido organizado como sigue: un primer apartado en el cual se presenta un desarrollo teórico sobre los problemas de decisión y Teorema de Bayes. Seguido, se presentan los materiales y la metodología propuesta para resolver el problema de toma de decisión y finalmente unas conclusiones.

Hipótesis. Es posible modelar la selección de candidatos para recibir apoyo que ofrece la CONAFOR mediante un método bayesiano.

El presente artículo tiene como objetivo proponer un modelo para la selección de candidatos que reciban apoyo con los programas que ofrece la CONAFOR basado en un método bayesiano, el cual permite elegir entre varias alternativas, la que mejor responde a los múltiples criterios definidos para ello.

Teoría de la decisión.

González F.A. aclara que la teoría de la decisión se ocupa de analizar cómo elige una persona aquella acción que, de entre un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado dadas sus preferencias [4].

La decisión puede ser paramétrica: si el contexto se considera dado, es decir, un parámetro o estrategia: si las decisiones de los actores son interdependientes. De forma que nuestra decisión dependa de lo que hagan los demás [5]. A este cuadro habría que añadirle la cantidad de información con que cuenta el individuo para decidirse por una opción u otra de su conjunto factible.

Si la información sobre los resultados de las distintas opciones es completa conocemos con toda seguridad las consecuencias de nuestras decisiones el decisor se hallará ante una situación de certidumbre; si, por el contrario, la información es incompleta desconocemos qué consecuencias tendrán nuestras acciones, la situación será de riesgo o bien de incertidumbre [6], el siguiente árbol recoge de manera resumida el panorama de la teoría de la decisión.



Figura 1: Teoría de la decisión [6].

Teorema de Bayes.

R. Aznar indica que Thomas Bayes estudió el problema de la determinación de la probabilidad de las causas a través de los efectos observados la influencia de las primeras investigaciones en que trataron el razonamiento condicional [7].

T. Bayes plantea de manera explícita que “Dado el número de veces que un suceso ha ocurrido y el de veces que no ha ocurrido, se requiere calcular la probabilidad de su ocurrencia en un solo experimento esté entre cualesquiera de los valores prefijados” (regla de Bayes) [8]. La regla de Bayes es una de las normas más importantes de la teoría de la probabilidad, ya que es el fundamento de la inferencia bayesiana. La idea principal de la metodología bayesiana proviene de la regla de Bayes y en los conceptos bayesianos los parámetros se consideran variables aleatorias [9].

El interés por el teorema de Bayes trasciende a la aplicación clásica, especialmente cuando se amplía a otro contexto en el que la probabilidad no se entiende exclusivamente como la frecuencia relativa de un suceso a largo plazo, sino como el grado de convicción personal acerca de que el suceso ocurra o pueda ocurrir.

Probabilidad a priori: Es la probabilidad incondicional asociada con la medición del grado de conocimiento inicial que se tiene de los parámetros en estudio. Si bien su influencia disminuye a medida que más información muestral es disponible, el uso de una u otra distribución a priori determinará ciertas diferencias en la distribución a posteriori [10]. Una vez que el decisor obtiene alguna evidencia referente a las variables aleatorias desconocidas que constituyen el dominio, las probabilidades priori ya no son aplicables.

Probabilidad a posteriori: Es la probabilidad condicional, utilizada en el criterio de valor esperado y suele estimarse a partir de datos históricos, puede mejorarse con experimentación adicional [11].

Árbol de decisión: Los árboles de decisión representan decisiones anidadas que sirven para clasificar los datos. Cuando se utiliza un árbol de decisión sobre los datos, se obtienen reglas que permiten clasificarlos. Un árbol se representa por un conjunto de nodos, hojas y ramas. El nodo principal o raíz es el atributo a partir del cual se inicia el proceso de clasificación; los nodos internos corresponden a cada una de las preguntas acerca del atributo en particular del problema. Cada posible respuesta a los cuestionamientos se representa mediante un nodo hijo. Las ramas que salen de cada uno de estos nodos se encuentran etiquetadas con los posibles valores del atributo. Los nodos finales o nodos hoja corresponden a una decisión, la cual coincide con una de las variables clase del problema a resolver [12].

Red Bayesiana: La red bayesiana [13] [14], es una clase de modelo gráfico que permite una representación concisa a través de una distribución de probabilidad condicional entre un conjunto de atributos en un grafo dirigido acíclico. La dependencia entre dos atributos es descrita por la presencia de un arco entre ellos, y su influencia causal, por la dirección del arco. La independencia entre atributos se representa por la ausencia de un arco que conecte atributos particulares.

2. Desarrollo

“Package party”.

Una paquetería llamada “A Laboratory for Recursive Partitioning”: Creada por Torsten Hothorn (versión 1.3-3), describe que es una caja de herramientas computacional para particiones recursivas. El núcleo del paquete es `ctree()`, una implementación de árboles de inferencia condicional que integran modelos de regresión estructurados en árbol en una teoría bien definida de procedimientos de inferencia condicional. Esta clase no paramétrica de árboles de regresión es aplicable a todo tipo de problemas de regresión, incluidas las variables de respuesta nominales, ordinales, numéricas, censuradas y multivariadas y escalas de medición arbitrarias de las covariables. Basado en árboles de inferencia condicional, `cforest()` proporciona una implementación de los bosques aleatorios de Breiman [15]. La función `mob()` implementa un algoritmo para particiones recursivas basado en modelos paramétricos, empleando pruebas de inestabilidad de parámetros para la selección dividida. La funcionalidad extensible para visualizar modelos de regresión estructurados en árbol está disponible [16].

Metodología para la base de datos.

Etapa 1 Recopilación.

Se cuenta con una base de datos relacional proporcionada por la CONAFOR (dictaminación del año 2018), donde se encuentran 697 solicitantes que fueron evaluados bajo los criterios de prelación establecidos en las Reglas de Operación del 2018 (atributos)[17] en un formato de una hoja de cálculo, cada caso contiene registro de los datos particulares de cada solicitante y es evaluado bajo 60 y 58 atributos numéricos y categóricos respectivamente.

Etapa 2 Limpieza y transformación.

Para efecto de confidencialidad de los datos se modificaron los nombres de los solicitantes y los folios de control, así como conversión de algunos atributos categóricos a numéricos, obteniendo un resumen de las características de los atributos.

Etapa 3 Construcción.

Se evalúa la base de datos extrayéndola al programa RStudio (R versión 3.6, 2019-07-05, Copyright (C) 2019 The R Foundation for Statistical Computing Platform: x86_64-w64-mingw32/x64, 64-bit) para ser corrida en la paquetería “Party” para comprobar que el modelo aplicado es funcional.

Etapa 4 Evaluación.

Una vez obtenida la red bayesiana se evalúa al modelo mediante una validación simple la técnica “bootstrapping” [11][18]: 1) Se divide el conjunto de datos (694 solicitantes) de manera aleatoria obteniendo dos disjuntos (conjunto de entrenamiento: 482 solicitantes y conjunto de test:212 solicitantes) en estos dos conjuntos contruidos pueden contener datos repetidos. 2) Se aplica el algoritmo al conjunto de entrenamiento, 3) Se utiliza la matriz de confusión [19] [20] para mostrar el recuento de casos de las clases predichas y sus valores actuales para conocer mejor el tipo de error de nuestro modelo (Conocer la precisión del modelo).

Etapa 5 Interpretación.

Análisis e interpretación del grafo resultante para la descripción de su comportamiento (ver Figura 2)

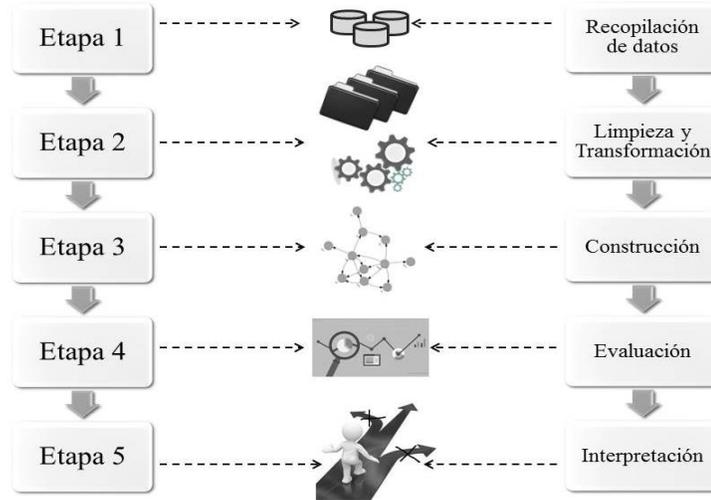


Figura 2: Metodología.

3. Resultados

Como se aprecia en la Figura 3, se obtiene una red bayesiana con el siguiente contenido:

Los nodos que definen el perfil de los solicitantes factibles son: Nodo 1-Nodo 5-Nodo 6, es decir, existe una mayor probabilidad de ser catalogado como factible si el solicitante cuenta con un proyecto Técnicamente Si Factible y perteneciendo a un Municipio con nula y alta marginación.

Nodo 1: Es el factor (Y)= que describe a la variable dependiente que posteriormente ramifica en dos nodos: al Nodo2 (donde 3=Muy alta) y nodo 5 (donde 1=No y 2=Alta), tomando el criterio perteneciente a un municipio con un grado de marginación, indicando que ésta es la variable principal predictor

Nodo 5: Lo precede el Nodo 1. Corresponde a la variable dependiente nombrada como Técnicamente no factible, ramificando en dos nodos: al Nodo 6 donde (“≤0”=No) y al Nodo 7 (donde y “>0”=Si)

Nodo 6: Indica que de 505 solicitantes que caen en esta rama, existe una probabilidad de 27.7% y 72.3% de ser catalogado como No Factible y Si Factible respectivamente.

Se obtiene también la matriz de confusión (Tabla 1) que indica lo siguiente:

- NV es la cantidad de NO que fueron clasificados correctamente como NO.
- NF es la cantidad de NO que fueron clasificados incorrectamente como SI.
- SV es la cantidad de SI que fueron clasificados correctamente como SI.
- SF es la cantidad de SI que fueron clasificados incorrectamente como NO.

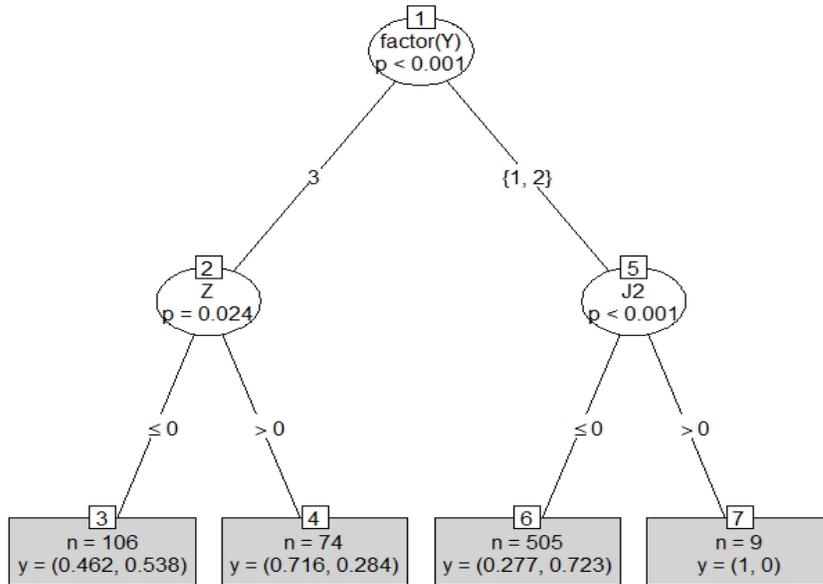


Figura 3: Red bayesiana.

Predicción/Real	Valor Real		
	Predicción/Real	NO	SI
Valor Predicho	NO	18 (NV)	8(NF)
	SI	66(SF)	120(SV)

Tabla 1.- Matriz de Confusión.

Demostrando que cuenta con (ver Tabla 2):

- Sensibilidad: también se la llama recall o tasa de verdaderos positivos. Nos da la probabilidad de que, dada una observación realmente positiva.
- Especificidad: también llamado ratio de verdaderos negativos. Nos da la probabilidad de que, dada una observación realmente negativa.
- Precisión: también llamado valor de predicción positiva. Nos da la probabilidad de que, dada una predicción positiva, la realidad sea positiva también.
- Valor de predicción Negativa: Nos da la probabilidad de que, dada una predicción negativa, la realidad sea también negativa.
- Error de clasificación: Porcentaje de errores del modelo.
- Exactitud: Porcentaje total de los aciertos de nuestro modelo.
- Prevalencia: La probabilidad de un positivo en el total de la muestra.

Métricas	Porcentaje
Sensibilidad	93.75%
Especificidad	21.43%
Precisión	64.52%
Valor de predicción negativa	69.23%
Error de clasificación	34.91%
Exactitud	65.09%
Prevalencia	60.38%

Tabla 2.- Porcentaje de métricas.

4. Conclusiones

En este artículo presentamos un método bayesiano que describe de manera gráfica el proceso de dictaminación que lleva a cabo la CONAFOR, en él se demuestra la relación entre algunas de las variables (Y y J2), arrojando una mayor probabilidad de ser catalogado como factible perteneciendo a un Municipio con nula y alta marginación, teniendo un proyecto Técnicamente factible.

La precisión del modelo no garantiza que refleje la situación del problema actual, no obstante se debe contrastar el conocimiento que éste proporciona con el conocimiento previo que el experto decisor pudiera tener sobre el caso en particular y resolver los posibles conflictos.

Para trabajos futuros se recomienda usar la técnica crossvalidation para evaluar los resultados del análisis estadístico y garantizar (in)dependencia de la partición entre datos de entrenamiento y prueba.

El concepto de KDD se ha desarrollado, y continúa desarrollándose, desde la intersección de la investigación de áreas tales como bases de datos, aprendizaje automático, reconocimiento de patrones, estadística, teoría de la información, inteligencia artificial, razonamiento con incertidumbre, visualización de datos y Soft Computing, por estos motivos se recomienda para trabajos futuros incluir la minería de datos.

5. Referencias

- [1] SEMARNAT, (2017). Misión y Visión de la SEMARNAT, Obtenida el 12 de Noviembre del 2018, de la página electrónica: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/mision-y-vision-de-la-semarnat>
- [2] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2017). Ley orgánica de la administración pública federal. México
- [3] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2019). Quinta-Sexta Sección, Comisión Nacional Forestal. México.
- [4] González, F. A. (2004). Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (8), 139-160.
- [5] Elster, J. (Ed.). (1986). *Rational choice*. NYU Press.
- [6] Rapoport, A. (1983). *Mathematical models in the social and behavioral sciences*. John Wiley & Sons.
- [7] Enrique R. Aznar, (2007). Biografías-Thomas Bayes, Obtenida el 24 de Octubre de 2018, de la página electrónica: <https://www.ugr.es/~eaznar/bayes.htm>
- [8] Paredes-Cancino, C., & Cantoral, R. (2018). La noción de proporcionalidad en la construcción del teorema de Bayes. *El caso del pensamiento estocástico*.
- [9] Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Pearson Educación.
- [10] Octavio Paredes Pérez (2013). *Regresión Lineal por Medio del Análisis Bayesiano*. Tesis Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Facultad de Ciencias Físico Matemáticas. México
- [11] Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno* (No. 04; Q335, R8y 2004.).
- [12] Mestizo Gutiérrez, S. L. (2015). *Árboles de decisión y redes bayesianas para el análisis de genes involucrados en la enfermedad de Alzheimer*.
- [13] Sahami, M. (1996). Aprendizaje clasificadores bayesianos de dependencia limitada. En *KDD* (Vol. 96, No. 1, pp. 335-338).
- [14] Portugal, R., & Carrasco, M. (2007). Ensamble de Algoritmos Bayesianos con Árboles de decisión: una alternativa de clasificación. In *XVII Congreso Chileno de Control Automático ACCA*, Universidad de la Frontera, Chile.

- [15] Breiman, L. (2001). Bosques al azar. *Aprendizaje automático*, 45 (1), 5-32.
- [16] Torsten Hothorn, Kurt Hornik y Achim Zeileis (2006). Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15 (3), 651-674.
- [17] Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2019). Décima-Décimoprimera Sección, Comisión Nacional Forestal. México.
- [18] Hernández, O. José., Ramírez, Q. M., & Ferri, Ramírez. C. (2004). *Introducción a la minería de datos*. 3er. edición. Pearson, Prentice Hall. México.
- [19] Zelada, C. (2017). Evaluación de modelos de clasificación, Obtenida el 25 de Enero del 2019, de la página <https://rpubs.com/chzelada/275494>.
- [20] Pina, K. (2018). Matriz de confusión, Obtenida el 25 de Enero 2019 de la página <https://koldopina.com/matriz-de-confusion/>

Help-Point

Carlos Arturo Espinoza Galicia, Maestría en Ingeniería en Desarrollo de Software¹, Laura José Florencio², Noedwuin Fernández Florencio³ Daniela Ameyalli Sánchez Rivera⁴, Fernanda Martínez Barrera⁵.

Carlos Arturo Espinoza Galicia, Maestría en Ingeniería en Desarrollo de Software, es Profesor de Ing. en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. cespinoza@iteshu.edu.mx⁵

² estudiante. Laura José Florencio, es Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a17021004@iteshu.edu.mx⁶

³ estudiante. Noedwuin Fernández Florencio es Estudiante de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a17021185@iteshu.edu.mx.⁷

⁴ estudiante. Daniela Ameyalli Sánchez Rivera, es Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a17021005@iteshu.edu.mx⁸

⁵ estudiante. Fernanda Martínez Barrera es Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a17021136@iteshu.edu.mx.⁹

Resumen— El presente proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema capaz de enviar un mensaje de alerta a amigos, familiares y números de emergencia en caso de que una persona se encuentre en situación de vulnerabilidad, haciendo uso de un sensor ubicado en una parte no visible del cuerpo, el cual estará vinculado a una aplicación móvil que se encargara de notificar a las personas seleccionadas. El plan se desarrolla en dos enfoques uno de software y otro haciendo uso de hardware, el primero consiste en una aplicación móvil que contendrá una lista con información de las personas de confianza a los cuales se les dará aviso, y el segundo, consiste en un botón sensorial que activará los mensajes de emergencia.

Para la elaboración de este proyecto se consideraron determinadas características que permiten hacer el trabajo de una manera precisa, en el menor tiempo posible, por lo cual, es objetivo desarrollar soluciones con tecnologías .Net de Microsoft, también como metodologías de desarrollo se implementó SCRUM y Kanban y principios de diseño como es el desarrollo en capas, KISS, CLEAN CODE SOLID.

Palabra(s) clave— Sensor, seguridad, alerta, desarrollo, hardware.

Abstract— This project aims to implement a system capable of sending an alert message to friends, family and emergency numbers in case a person is in a situation of vulnerability, using a sensor located in a non-visible part of the body, which will be available to a mobile application that will notify the selected people. The plan is developed in two approaches, one of software and the other using hardware, the first one consists of a mobile application that will contain a list with information of the people of trust to whom they will be given notice, and the second, consists of a sensory button that activates emergency messages.

For the elaboration of this project the specific characteristics that allow to do the work in a precise way, in the shortest possible time, will be considered, therefore, it is objective to develop solutions with Microsoft .Net technologies, as well as development methodologies SCRUM are implemented and Kanban and design principles such as layered development, KISS, CLEAN CODE SOLID.

Key words – Sensor, security, alert, development, hardware.

1. Introducción

En la actualidad un problema que daña a la sociedad es la inseguridad, según estadísticas del INEGI la tasa de incidencia delictiva va en aumento, ya que según reportes, durante el primer trimestre de 2019 ocurrieron 285 homicidios dolosos contra niñas, niños y adolescentes [1], atentando contra los derechos fundamentales del ser humano, entre los cuales, según la constitución mexicana, están el derecho a la vida, a la libertad (en todos los aspectos) a la igualdad, a su intimidad, con ello obstaculiza el desarrollo humano. Ante este fenómeno el gobierno ha adoptado medidas de intervención a partir de políticas públicas con el fin de prevenir y neutralizar los hechos de violencia y criminalidad que más afectan a los ciudadanos mediante la implementación de

⁵ Carlos Arturo Espinoza Galicia, Maestría en Ingeniería en Desarrollo de Software, Profesor de Ing. en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

⁶ Laura José Florencio, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

⁷ Noedwuin Fernández Florencio, Estudiante de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

⁸ Daniela Ameyalli Sanchez Rivera, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

⁹ Fernanda Martínez Barrera, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

programas como el modelo nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes, dirigido por la policía nacional, pero estas políticas no son suficientes para reducir las actividades delictivas, no para disminuir el nivel de percepción de inseguridad, sin embargo las autoridades consideran factible este prototipo ya que brinda más seguridad a las personas.

El objetivo es desarrollar una solución tecnológica que emita alertas a personas previamente registradas en caso de presentar una emergencia, permitiendo conocer su ubicación actual previa, a cualquier ataque comunicándose con las personas que estén registradas como tutores mediante un mensaje de texto.

A corto plazo se pretende que el dispositivo emita las alertas correspondientes, posteriormente para futuras versiones se pretende que pueda ser usado para todas las regiones posibles.

En la actualidad existen diferentes aplicaciones como lo es la aplicación Guate Segura esta permite denunciar robos, crímenes y cualquier acto delictivo, por otro lado, existe otra aplicación que permite el control y seguridad domiciliaria en tiempo real vía teléfono celular, como podemos notar estas aplicaciones están enfocadas a la seguridad del domicilio, pero no a la de las personas. Help-Point está enfocada a las personas, es decir cuando sienta que está en riesgo va a poder avisarle a sus familiares y cuerpos de emergencia en tiempo real sobre el riesgo que está enfrentando en ese momento.

2. Desarrollo

2.1. TECNOLOGÍAS USADAS

Para llevar a cabo este proyecto es necesario conocer aspectos relacionados con hardware y de sensores que junto con conocimiento de desarrollo de software y metodologías se puede hacer un buen trabajo y a continuación se describen.

KISS:

Es un acrónimo de la frase inglesa “Keep it simple, Stupid”, este patrón lo que nos dice es que cualquier sistema va a funcionar mejor si se mantiene sencillo que si se vuelve complejo. Es decir que la sencillez tiene que ser una meta en el desarrollo y que la complejidad innecesaria debe ser eliminada.[2]

C#: Es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado y estandarizado por Microsoft como parte de su plataforma .NET. [3]

IDE-Arduino: Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware.[4]

Modulo GPS: Es todo un sistema que permite ubicar la posición en cualquier parte del mundo. [5]

Modulo SIM: Es un módulo que se utiliza en los teléfonos móviles en la que se almacena de forma segura la información del usuario del teléfono necesaria para identificarse en la red (clave de autenticación e identificación del área local). El Módulo SIM también almacena datos del operador necesarios para el servicio de mensajes cortos y otros servicios.[6]

MySQL: Es un sistema de gestión de base de datos relacional (RDBMS) de código abierto, basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL). [7].

SQL (Structured Query Language): es un lenguaje de dominio específico utilizado en programación, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales. [7]

SOLID [9]: Acrónimo que hace referencia a cinco principios básicos de diseño y de programación, que a continuación se mencionan:

1. S= Principio de responsabilidad única (Single Responsibility Principle): Cada elemento debe realizar una tarea en específico.
2. O=Principio de Abierto / Cerrado (Open closed Princlce): Las entidades de software debe de permitir, si así

lo requiere una extensión y a su vez cerradas a la modificación.

3. L= Principio de Sustitución de Liskov (Liskov Substitution Principle): Los objetos de un programa deben poder remplazar por instancias de sus tipos sin alterar las construcciones del programa.

4. I= Principios de Segregación de Interfaces (Interface Segregation Principle): Es recomendable implementar diversas interfaces específicas de cliente que una interfaz de uso general.

5. D= Principio de Inversión de Dependencias (Dependency Inversion Principle): Debemos depender de las abstracciones y no de las congregaciones.

2.2. Metodología

Help-Point está construido bajo la metodología de desarrollo en capas, y siguiendo los conceptos de SOLID y KISS entre otros, donde para almacenar la información, se utiliza la base de datos MySQL por medio de una capa de acceso a datos (DAL) la cual proporciona métodos CRUD a la capa BIZ.

Para el diseño de las interfaces gráficas, se hizo uso de Material Design, basado en combinaciones de colores provistos por MatterialPalette.com.

Sobre la metodología de trabajo se realiza mediante la metodología ágil KANBAN, la cual se implementa mediante tableros con TRELLO y control de versiones de código usando GitLab.

El proyecto se realizó con Visual C# y Tecnologías .Net de Microsoft ya que permite actuar sobre todos los ambientes, desde aplicaciones Móviles hasta aplicaciones embebidas con Raspberry Pi, la gran ventaja radica en que junto con el desarrollo en capas y el uso de patrones de diseño y buenas prácticas, el mantenimiento y depuración del código se realiza muy rápido además de que implementar nuevas funcionalidades resulta muy sencillo (figura 1)

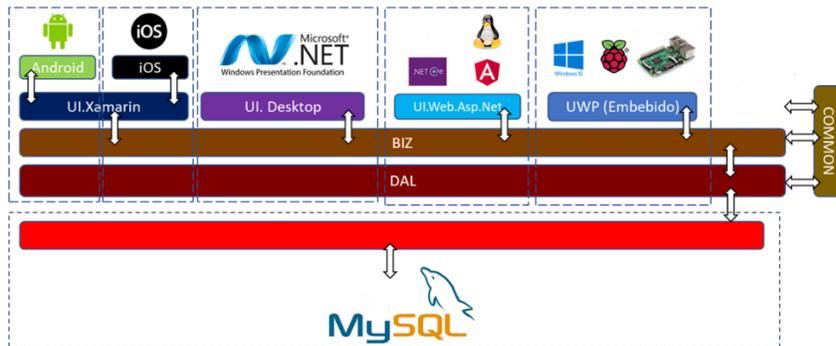


Figura 1: Estructura del proyecto Help-Point (Construcción propia).

El proyecto cuenta con la siguiente estructura.

Proyecto.COMMON: En esta capa se encuentran todas clases comunes en todo el proyecto por ejemplo entidades que es donde se encuentran las clases y sus respectivas propiedades, e interfaces, aquí se encuentran los métodos que se implementaran las algunas otras capas.

Proyecto.BIZ (Bussines – Lógica de Negocio): Presenta la lógica de negocio para el funcionamiento de la aplicación y de la interfaz de usuario.

Proyecto.DAL: Contiene las operaciones necesarias, en este caso los métodos CRUD para el acceso a la base de datos MySQL la cual contiene todos los datos registrados, como se muestra en la figura 2.

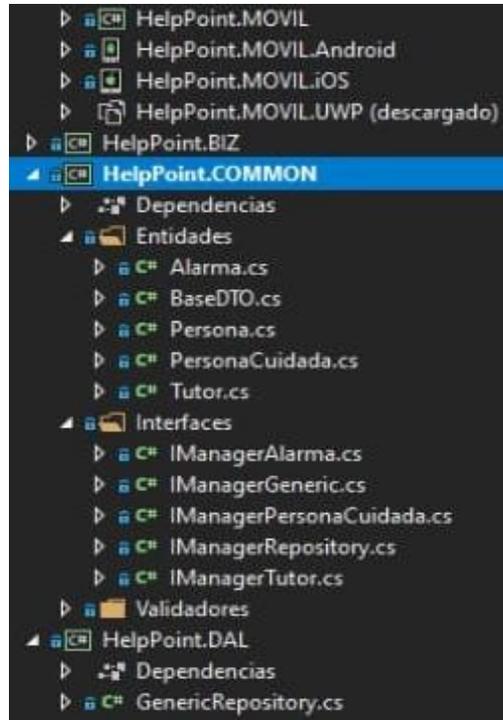


Figura 2: Estructura del proyecto Help-Point (Construcción propia).

3. Resultados

El proyecto consiste en un dispositivo (botón de pánico) y una aplicación móvil para dar de alta a la persona cuidada y a sus tutores para llevar a cabo el control de las alertas.

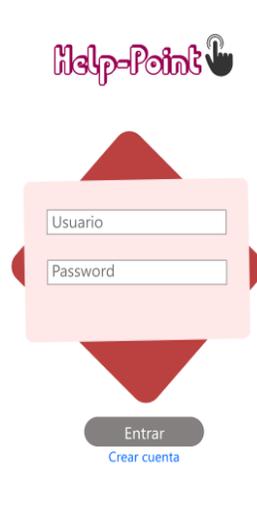


Figura 3: Aplicación Administrador Help-Point (Construcción propia)

La aplicación móvil permitirá registrarse, en dado caso de que no se tenga una cuenta de usuario o que se adquiera por primera vez el dispositivo, se tendrá que llevar a cabo el llenado del formulario con la

información personal requerida. (Figura 4)

Figura 4: Registro Help-Point (Construcción propia)

Cuando ya se ingresa a la aplicación se despliega un menú en donde se puede registrar y visualizar la información de la persona cuidada, tutores y sus alertas emitidas mencionando la fecha y coordenadas exactas. (Figura 5)

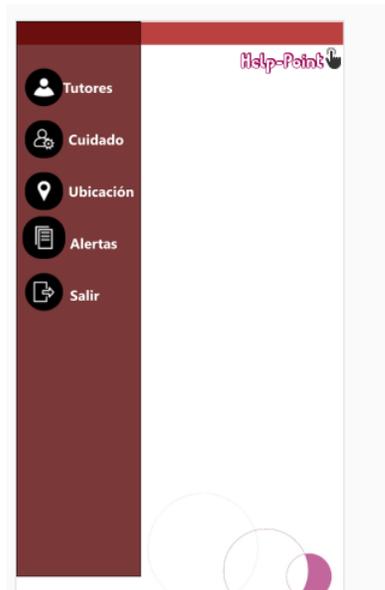


Figura 5: Menú principal Help-Point (Construcción propia)

En este apartado se podrá describir a la persona que se estará cuidando con sus datos personales, de igual manera se registrará el dispositivo que portará la persona este registro será mediante un número de serie. (Figura 6)

Figura 6: Registro de usuario Help-Point (Construcción propia)

Actualmente el proyecto se encuentra en proceso, sin embargo, para la primera etapa de la solución del proyecto se emiten mensajes de alerta de prueba (Figura 7) esto con la finalidad de buscar puntos de mejora continua.

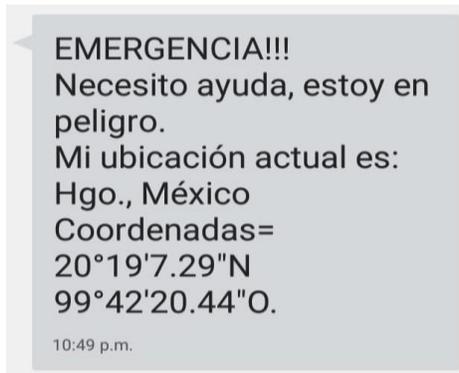


Figura 7: Mensaje de prueba (Construcción propia)

La metodología de trabajo nos permitió una mejor organización en la elaboración del mismo, así como también lograr el objetivo de desarrollar un dispositivo capaz de emitir alertas de ubicación en tiempo real de personas que se encuentre en una situación de riesgo.

4. Conclusiones

Según lo anterior se puede identificar de manera clara la importancia que tiene la seguridad de las personas en general, las autoridades han llevado a cabo diferentes estrategias, sin embargo, las medidas que se han implementado no han sido muy eficientes, es por ello que este dispositivo será capaz de mandar alertas a familiares registrados, brindando la ubicación exacta de la persona en peligro en tiempo real. Con este dispositivo se busca que tanto las autoridades como los las personas registradas previamente que surgen como tutores, tengan datos más reales de la persona que está en peligro.

Para versiones futuras se pretende hacer uso de WhatsApp para recibir las alertas, así mismo que los tutores puedan contar con una App especialmente para ellos para que puedan visualizar las rutas y ubicaciones con mayor frecuencia de la persona cuidada, siempre y cuando se le otorguen los permisos necesarios.

5. Referencias

- Acosta, B. (s.f.). *MasAdelante*. Obtenido de <https://www.masadelante.com/faqs/tarjeta-sim>
- E-Marmolejo, D. R. (s.f.). *Hetpro*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/que-es-un-gps/>
- Hernández, S. (07 de Mayo de 2016). *Tanta*. Obtenido de Clima.inspvirtual.mx/cursos/embarazo/evaluaciones/mod3/guardar_post.php#no-back-button
- INEGI. (2018). *Mujeres y Hombres en México 2018*. Obtenido de http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/MHM_2018.pdf
- Jecrespom. (s.f.). *Aprendiendo Arduino*. (Wordpress) Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/acerca-de/>
- Morales, L. E. (2015). *Los Modelos NPS*. Ibarra.
- M. Rouse, Enero 2015. [En línea]. Available: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/MySQL>.

6. Notas Biográficas

- Carlos Arturo Espinoza Galicia**, Maestría en Ingeniería en Desarrollo de Software, Profesor de Ing. en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan
- Laura José Florencio**, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.
- Noedwain Fernández Florencio**, Estudiante de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.
- Daniela Ameyalli Sanchez Rivera**, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.
- Fernanda Martínez Barrera**, Estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

Niveles de aprendizaje en niños con trastorno de espectro autista mediante el uso de un software educativo.

Castellanos Alor Zukey Amairani, Anaya González Diana Cristina

Nombre (s) Guerrero Sanchez María Elizabeth, es Profesor de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Coatzacoalcos, Veracruz. Eli_guessa@yahoo.com.mx Guerrero Sánchez María Elizabeth, es Profesor de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Coatzacoalcos, Veracruz. eli_guessa@yahoo.com.mx.
²Solano Uscanga Lourdes Yareli, es Profesor de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, Coatzacoalcos, Veracruz. yareliolano@live.com.

Resumen— La investigación realizada se tomó como base para la creación de una propuesta educativa para la intervención en el ámbito socioemocional en niños de 5 a 10 años que presentan Trastorno del Espectro Autista (TEA), este trastorno provoca que el niño con TEA tenga problemas con sus habilidades sociales, emocionales y de aprendizaje, muchos de estos niños son diagnosticados a temprana edad, con este software se busca mejorar el entorno social, lingüístico, emocional y empático del usuario para generar un avance social positivo, a bajo costo y cómodo tanto para el niño como sus familiares. Le ayudara a mejorar sus habilidades socioemocionales por medio de material audiovisual, donde el niño pueda aprender cosas cotidianas y conocimientos básicos como el abecedario, los números, las frutas, las verduras, colores, animales, las notas musicales, actividades cotidianas, que son esenciales para el desarrollo de los niños que padecen este síndrome, estableciendo así un medio de comunicación entre el niño y su entorno logrando que ellos puedan interactuar, reconocer y establecer relaciones emocionales con las personas que los rodean, permitiendo al niño llevar una educación adecuada a sus necesidades y capacidades de aprendizaje que se plantearon con objetivo de desarrollar un software educativo de apoyo a los niños que padecen trastorno de espectro autista con la finalidad de desarrollar habilidades de desempeño social y emocional en su entorno en base a los niveles de aprendizaje.

Palabra(s) clave- Autismo, aprendizaje, niño, PECS, niveles, TEA, entorno social, lingüístico, emocional y empático.

Abstract – The research carried out was based on the creation of an educational proposal for intervention in the socio-emotional field in children aged 5 to 10 years who have Autism Spectrum Disorder (ASD), this disorder causes the child with ASD to have problems with their social, emotional and learning skills, many of these children are diagnosed at an early age, with this software we seek to improve the user's social, linguistic, emotional and empathic environment to generate a positive, low-cost and comfortable social progress for both Child as his relatives. It will help you improve your socio-emotional skills through audiovisual material, where the child can learn everyday things and basic knowledge such as the alphabet, numbers, fruits, vegetables, colors, animals, musical notes, daily activities, which are essential for the development of children suffering from this syndrome, thus establishing a means of communication between the child and their environment, ensuring that they can interact, recognize and establish emotional relationships with the people around them, allowing the child to bring an adequate education to their children. Learning needs and abilities that were raised with the objective of developing educational software to support children suffering from autism spectrum disorder in order to develop social and emotional performance skills in their environment based on learning levels

Key words– Autism, learning, child, PECS, levels, ASD, social, linguistic, emotional and empathic

environment.

1. Introducción

En la actualidad se conoce que existe el trastorno de espectro autista este síndrome provoca que el niño con TEA tenga problemas con sus habilidades sociales, emocionales y de aprendizaje, muchos de estos niños son diagnosticados a temprana edad, con este software se busca mejorar el entorno social, lingüístico, emocional y empático del usuario para generar un avance social positivo, a bajo costo y cómodo tanto para el niño como sus familiares.

Este software le brindara al niño mejorar sus habilidades socioemocionales por medio de material audiovisual, donde el niño pueda aprender cosas cotidianas y conocimientos básicos como el abecedario, los números, las frutas, las verduras, colores, animales, las notas musicales, actividades cotidianas, que son esenciales para el desarrollo de los niños que padecen este síndrome de TEA.

Se pretende que el software pueda impactar positivamente en las vidas cotidianas de estos niños con TEA y puedan adaptarse en una escuela con otros niños de una manera natural mejorando su interacción social con personas que son desconocidas para él, logrando tener un desarrollo emocional e intelectual en el proceso.

2. Desarrollo

De acuerdo a los datos proporcionados por la Secretaría de Salud del Gobierno del Estado de México se conoce que 1 de cada 115 niños entre 5 y 10 años padecen el síndrome de espectro autista en México, el TEA es diagnosticado por patrones repetitivos que se presenta como alteraciones sociales, emocionales y de lenguaje antes de los 3 años de edad, la terapia que utilizan es de carácter didáctico, mímico y lingüístico. De acuerdo a datos recabados en la ciudad Coatzacoalcos, por la Psicóloga Adriana Sánchez Guerrero, la población TEA aumento del 5 al 10% con respecto a años anteriores.

Este síndrome se genera desde el nacimiento por diversos factores genéticos o causados por otras enfermedades en el periodo de gestación del feto, dichas enfermedades pueden ser rubéola en el embarazo, retraso mental hereditario y tumores graves; aun así, se cree que también se puede dar por padecimientos genéticos de depresión y esquizofrenia.

Las características específicas de este síndrome se basan en dos, las cuales son deficiencias de la comunicación verbal y emocional en la interacción social y patrones repetitivos de comportamiento e intereses particulares sobre objetos específicos; esto quiere decir que el menor tomara aprecio a un objeto en especial y no prestará más atención a su entorno y solo se basara en este objeto.

La edad más eficaz en el momento de mejorar el nivel de autismo es desde los 5 a los 10 años de vida del menor, ya que es más propenso a ser curioso e intentar seguir un perfil amoldado a él para integrarse en un entorno social.

Cabe mencionar que esto dependerá del menor y la ayuda brindada en su vida cotidiana, al igual que se necesitará tener el conocimiento de padecimientos alternos que pudieran ocasionar alteraciones en los periodos de aprendizaje del menor, los padecimientos asociados al TEA son desarrollados posteriormente y calificados dependiendo el nivel de autismo solo del 30% al 40% de niños autistas padecen alguna otra enfermedad; los padecimientos más comunes entre el autismo son hiperactividad, ansiedad, bipolaridad, trastorno obsesivo-compulsivo, dispraxia y discapacidad intelectual; esta última se estima que entre el 40% y el 69% de los autistas la padecen en diversos grados, Fue descrito desde el año 1941 por Leo Kanner

Aunque ya existan algunas fundaciones en Coatzacoalcos especializadas en ayudar a los niños autistas, se requieren elementos extras como apoyo en la educación de los menores, por eso se cree que sería de gran ayuda contar con un software que desempeñe el papel de repetidor de acciones y emociones que el niño pueda manejar fácilmente, al igual que se podría brindar ayuda a más estados del país con esta idea, intentando mantener al margen el aumento de niveles de autismo de estos niños y procurando su mejoría en el entorno social, cultural y emocional por medio de un programa utilizando material audio visual el cual contara con juegos y material didáctico de escuchar y repetir .

Se utilizó la encuesta, para recopilar información de los padres y familiares de los niños con TEA, con la intención de identificar datos para orientar el tipo de tecnología que los pequeños utilizan, se desarrolló una encuesta que se le aplicará a los padres de los niños donde se obtendrá las interacciones que han tenido con la tecnología y su comportamiento con la sociedad en general.

El diseño metodológico para desarrollar el software Blends fue la metodología de programación extrema, se centra en potenciar las relaciones interpersonales del equipo de desarrollo, esta metodología pone el énfasis en la retroalimentación continua entre cliente y el equipo de desarrollo y es idónea para proyectos con requisitos imprecisos y muy cambiantes.

Un software similar es e-Minza el cual es un software que ayuda a expresar las necesidades y entender mejor lo que la persona con tea quiere expresar con TEA por medio de imágenes específicas, tiene la opción de poder ingresar imágenes con el motivo de desarrollar un mejor entendimiento de lo que desea expresar.

	BLENDS	e-Minza
ANIMACIONES	SI	NO
IMAGENES	SI	SI
MUSICA	SI	NO
JUEGOS	SI	NO

Como se puede apreciar e-Minza solo cuenta se cuentan con imágenes estáticas y no aporta otro tipo de método de aprendizaje a comparación del software Blends que utiliza animaciones, juegos y muisca para poder comunicarse ya prender.

Las principales estrategias y terapias didácticas para el apoyo del desarrollo socio-emocional para niños con trastorno del espectro autista, especialmente en los niveles 1 y 2 dado que presentan conductas menos agresivas basándose en la quinta versión del DSM-5 de la Asociación Americana de Psiquiatría, la cual contiene los siguientes apartados:

- Piano Interactivo: Produce notas musicales mediante la interacción del teclado de la computadora.
- Escucha yRepite: Contiene imágenes animadas que muestran y reproducen los nombres de animales, letras, números, verduras, frutas y colores.
- Emociones: Presenta imágenes reales de niños expresando tristeza, alegría, etc.
- Música: El responsable de las terapias puede ingresar diversa música relajante para los niños.
- Memorama: Muestra diversos objetos de aseo personal que el niño pueda identificar.
- Tablero de Dibujo: Panel en donde se podrá expresar las emociones y necesidades del niño mediante un dibujo creado por él.
- Actividades Diarias: Presenta pictogramas de situaciones necesarias para el niño

Las técnicas de investigación utilizadas fueron la investigación pura junto con la no experimental y de campo, lo que permitió la recopilación de información para el desarrollo de cada uno de los apartados de esta investigación mediante ayuda de un terapeuta y un psicólogo especializado en trastornos para dar pauta a la creación del software.

Mediante la técnica de investigación y las distintas observaciones al interactuar la niña con el software se obtuvo un avance en su comunicación con el terapeuta debido al reconocimiento de objetos vistos en el software, como son los animales y el color amarillo, los cuales utilizo en una sección de prueba, en la cual utilizo el aparato de animales y colores para poder pedir un juguete con esas características, en comparación con un niño recién llegado no pudo interactuar con el terapeuta, por la falta de confianza y interacción lo que logro que se estresara al iniciar su terapias, evitando la integración con sus entorno social.

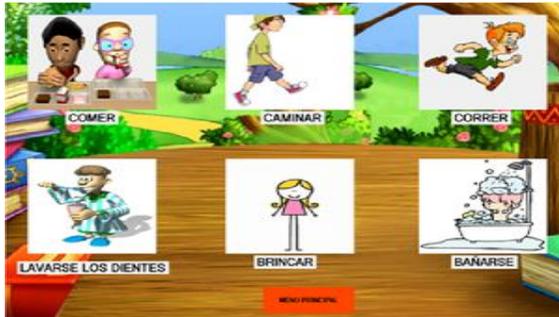
El software esta desarrollado en Visual Basic como lenguaje de programación creado en Visual Studio CommunityEdition, ayuda al usuario a la retención audiovisual, control de la comunicación con su entorno social y control de alteraciones mediante música, sobre una herramienta IDE de código libre y en un lenguaje gráfico que auxilia al desempeño de audios e imágenes dinámicas.

3. Resultados

Se entrevistó a un docente experto que imparte clases especiales para niños con TEA en la fundación YANAVI y un padre de familia que tiene una hija con este síndrome, el docente es quien imparte las clases y en su experiencia sabe de qué forma los niños pueden sentirse cómodos manipulando objetos como el mouse y el teclado, ya que Blends es un software basado en el aprendizaje lingüístico y retentivo de información útil para el menor.

El padre de familia nos apoyó dando consejos, técnicas y diversos puntos de vista de cómo ayudar a un mejor reconocimiento de las terapias que existe hoy en día y como esto ha ayudado a su hija. Al igual se realizó una exposición en donde se presentó el proyecto frente a docentes, jefe de carrera y el director del ITESCO, en donde se dio un voto favorable al proyecto y se mencionó solamente la necesidad de contactar con docentes de especializados en el TEA.

Como resultados se pueden observar las interfaces del software, y como están construidas por secciones basadas en las investigaciones previas, donde se aprecian distintos tipos de ellas se pueden apreciar que cada una contiene su nombre y una ilustración con movimiento que al darle un clic en el botón de su nombre se emite el nombre.



Como resultados se pueden observar las interfaces del software, y como están construidas por secciones basadas en las investigaciones previas que se dividen en secciones las cuales cuentan con distintas actividades didácticas que pueden realizar los niños que padecen TEA.



Ilustración 3 SECCION DE AUTOCUIDADO

En la primera sección que se muestra podremos encontrar actividades de cuidado y aseo personal como lavarse los dientes, atarse las agujetas, etc., se pueden apreciar que cada una contiene su nombre y una ilustración con movimiento que al darle un clic en el botón de su nombre se emite el nombre.



Ilustración 4 Escucha y repite

En la siguiente ilustración se muestra el apartado de las frutas donde se aprecian distintos tipos de ellas se pueden apreciar que cada una contiene su nombre y una ilustración con movimiento que al darle un clic en el botón de su nombre se emite el nombre de la fruta, el apartado cuenta con frutas como la manzana, naranja, plátano, etc.



Ilustración 5 Desarrollo emocional

En la siguiente ilustración se muestra el apartado de las frutas donde se aprecian distintos tipos de ellas se pueden apreciar que cada una contiene su nombre y una ilustración con movimiento que al darle un clic en el botón de su nombre se emite el nombre de la fruta, el apartado cuenta con frutas como la manzana, naranja, plátano, etc.



Ilustración 6 aseo personal

En la siguiente ilustración se muestra el apartado del aseo personal donde se muestra un memorama con artículos de esta índole mostrando del lado derecho las ilustraciones a buscar, del lado izquierdo se muestran distintos paneles donde tendrá un tiempo para memorizar la imagen y su ubicación al seleccionarla se escuchara el nombre del articulo seleccionado, al encontrar los pares estos desaparecen permitiendo que se concentren en encontrar otros pares.

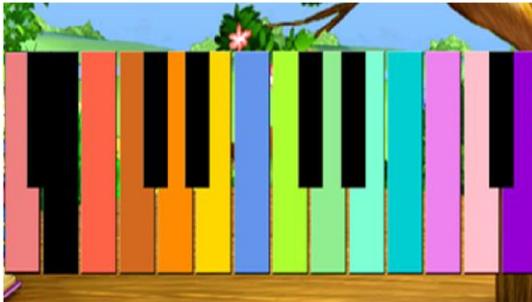


Ilustración 7 Piano interactivo

En este apartado se muestra un piano virtual con el cual podrá interactuar el niño atreves del teclado logrando que se sienta relajado al escuchar el sonido de las notas musicales que emite, permitiendo la liberación del estrés.



Ilustración 8 Panel de dibujo

En la ilustración se muestra un panel de dibujo en el cual se muestra una etiqueta de un borrador y nueve gamas de colores seleccionables para su utilización, donde podrán expresar sus emociones o necesidades.

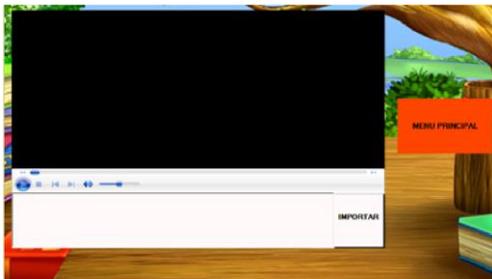


Ilustración 9 Reproductor musical

En esta ilustración se muestra un reproductor musical con el se podrán reproducir canciones adecuadas previamente seleccionadas por el tutor o terapeuta a cargo del menor.

4. Conclusiones

Ahora, con la llegada de los dispositivos móviles, se ha abierto mucho más el abanico de posibilidades educativas. Aunque hoy por hoy no hay estudios empíricos que demuestren las ventajas de estos dispositivos en centros de ayuda para niños con TEA y fundaciones, se han creado cientos de aplicaciones multimedia para ser usadas en tabletas, como el iPad, con la finalidad de poder trabajar los diferentes aspectos de las alteraciones que presentan los niños con TEA, y el hecho de ser móviles permiten que no solo sean usadas en el ámbito escolar sino también en el familiar como herramienta de terapia y comunicación con los familiares.

Esto ha hecho posible que ya se empiecen a introducir en estos centros de ayuda y fundaciones, aunque su implantación en ellas aún no es global, podría tener un impacto positivo a nivel regional dando una herramienta versátil para el manejo de comunicación e integración social. Esto podrá apoyar a muchas personas que se encuentran padeciendo este tipo de trastorno en especial a los chicos con muy pocas habilidades de comunicación.

5. Referencias

- Alonso, J. R. (2012). Apps útiles para niños con autismo. Autismo Diario. Recuperado el 16 de Mayo de 2014, de: <http://autismodiario.org/2012/02/09/apps-utiles-para-ninos-con-autismo/>
- Autismo Diario. (2008). Agendas personales para niños con autismo. Autismo Diario. Recuperado el 21 de Mayo de 2014, de: <http://wp.me/p11Um3-47>
- Autismo Diario. (2014). Signos tempranos en niños con autismo. Autismo Diario. Recuperado el 17 de Febrero de 2014, de: <http://wp.me/p11Um3-3rO>
- Alcamí, M., Molins, C., Mollejo, E., Ortiz, P., Pascual, A., Rivas, E., & Villanueva, C. (2008). Guía de diagnóstico y tratamiento de los Trastornos del Espectro Autista. La atención en la Red de Salud Mental. Madrid: COGESIN, S.L.U.

- American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.; DSM-5). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Brun, J. M. (2004). Aspectos relevantes en el asesoramiento en la escuela ordinaria de niños con graves trastornos de la personalidad. En J. M. Brun, & R. Villanueva, Niños con autismo. Experiencia y experiencias (págs. 195-208). Valencia: Promolibro.
- Brun, J. M. (2009). Autisme a l'escola. En J. Riart, & A. Martorell, Reptes professionalspelsicòleg de l'Educació (págs. 23-33). Barcelona: Col·legi oficial de Psicòlegs de Catalunya.
- Gallego, M. d. (2012). Guía para la integración del do con TEA en Educación Primaria. Salamanca: Instituto Universitario de Integración en la Comunidad-INICO. Recuperado el 3 de abril de 2014, de <http://wp.me/p11Um3-6Ve>
- García, A. (2008). Espectro Autista: definición, evaluación e intervención educativa. Mérida: Junta de Extremadura. Consejería de Educación.

6. Notas Biográficas

Mtra. María Elizabeth Guerrero Sánchez. Esta autora es profesora del instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, en Coatzacoalcos, Veracruz, México. Estudia actualmente el Doctorado en el Instituto Universitario Iberoamericano, en Xalapa, Veracruz, México. Actualmente se desempeña con horas de profesora investigadora en el Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos.

Mtra. Lourdes Yareli Solano Uscanga. Esta autora es profesora del instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, en Coatzacoalcos, Veracruz, México. Estudia actualmente el Doctorado en el Instituto Universitario Iberoamericano, en Xalapa, Veracruz, México. Actualmente se desempeña con horas de profesora investigadora en el Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos.

Localización y diseño de un centro de acopio de lima persa en la región Misantla.

Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, Ing.¹, Ing. Manuel Alejandro Caraza Morales², Ing. Leslye Yamileth Garrido Quintero³.

Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, Ing., es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail 192T0062@itsm.edu.mx.

² El Ing. Manuel Alejandro Caraza Morales, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail 192T0047@itsm.edu.mx.

³ La Ing. Leslye Yamileth Garrido Quintero, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail 192T0053@itsm.edu.mx.

Resumen— El artículo reporta una alternativa para los productores de lima persa de la región Misantla, mediante la localización y el diseño de un centro de acopio agrícola.

Con el objetivo de evaluar la posible implementación de un centro de acopio agrícola, se empleó el análisis FODA, como herramienta de partida para definir el tipo de entidad económica, para su posterior análisis de localización y diseño de la misma como apoyo en la toma de decisiones.

Como principales beneficios, es el desarrollo microempresarial de la región de Misantla. Además, se controlará el proceso adecuado del mantenimiento de los productos. La creación del centro de acopio presenta un impacto alto, porque benefician tanto a los habitantes del sector como también fortalece el crecimiento de la unión de los agricultores para entregar sus productos a un precio adecuado.

Palabra(s) clave— Localización de planta, diseño de planta, centro de acopio, lima persa.

Abstract— The article reports an alternative for Persian lime producers in the Misantla region, by locating and designing an agricultural gathering center.

With the objective of evaluating the possible implementation of an agricultural collection center, the SWOT analysis was used, as a starting tool to define the type of economic entity, for its subsequent analysis of its location and design as support in making decisions

As main benefits, it is the microenterprise development of the Misantla region. In addition, it controls the proper process of product maintenance. The creation of the collection center has a high impact, because it benefits both the inhabitants of the sector and also strengthens the growth of the farmers' union to deliver their products at an adequate price.

Key words— Plant location, plant design collection center, persian lime.

1. Introducción

Con una producción de 2.4 millones de toneladas, México ocupa el segundo lugar en la producción de limón a nivel mundial, apenas superado por la India, que se mantiene en el primer lugar con una producción superior a las 2.5 millones de toneladas. La producción de limón en México se encuentra concentrada principalmente en los estados de Veracruz y Michoacán, en donde se produce actualmente el 55 por ciento de la producción nacional. México exporta limones (92%) a Estados Unidos y el resto a países como Holanda, Reino Unido, Francia, Canadá, España y Japón. Las exportaciones mexicanas de limones sumaron 519 millones de dólares en 2017, un aumento de 15% frente al año previo y un máximo histórico, según estadísticas de la Secretaría de Economía (Vega, 2018).

Por su parte, el estado de Veracruz cerro su producción de limón en 2,027,902 de toneladas, refrendando su posición como uno de los estados líderes en el manejo de este cultivo (SIAP, 2019), cifras que se espera sean mayores en la presente cosecha que a tan solo en lo que va el año, cerrando conteo hasta el mes de febrero de 2019 se llevan 137,535 ton., cifra muy similar al ciclo anterior. Durante muchos años una zona en particular de Veracruz se ha dado a conocer por la cantidad de limón que produce, misma que ha representado, tan solo en el año 2017 el 10% de la producción total nacional, lo cual es reflejo de la planeación, explotación y enfoque exitoso de técnicas tanto empresariales, como ingenieriles y tecnológicas que la vuelven la zona referente en que se ha convertido.

El presente estudio se enfoca evaluar la factibilidad económica de un centro de acopio de lima persa en la región Misantla, como medio de recaudación de la producción cítrica de la zona, para permitir la apertura

de nuevos mercados y el desarrollo económico del pequeño productor e incentivar la producción de cítricos en la zona.

Es necesario mencionar, que un centro de acopio agrícola, es una instalación administrada por un comité, que cumple la función de concentrar o reunir la producción de hortalizas y frutas de pequeños productores, para que puedan competir en cantidad y calidad; para luego ser enviados a los mercados Mayoristas Urbanos, Distritales, supermercados, etc (Santacruz, 2018).

El desarrollo del estudio, está integrado por tres secciones, que documentan desde el “para que” realizar el estudio hasta establecer conclusiones sobre el mismo.

La sección 1, presenta la situación actual de la lima persa en la región de Misantla, generando el punto de partida. Se muestra una descripción general de las actividades realizadas. Así mismo, presenta la evaluación de posibles ubicaciones del centro de acopio y posteriormente para realizar el análisis de factibilidad económica.

La sección 2, se describe el producto resultante del desarrollo del estudio, es decir la evaluación económica del centro de acopio, mediante un resumen de indicadores con sus respectivas reglas de decisión.

Finalmente, la sección 3 corresponde a establecer conclusiones, recomendaciones y/o trabajos futuros. Así mismo los agradecimientos a las Entidades Públicas que apoyaron en el desarrollo del estudio.

2. Desarrollo

La producción de cítricos tiene un lugar importante en la actividad agrícola mundial (Corona, 2015), por resultar rentable para muchos de los países que consideran la citricultura como actividad prioritaria dentro de su economía. El consumo Nacional de lima persa es muy bajo en comparación con la producción obtenida por dos razones fundamentales:

- Desde los inicios del cultivo de limón persa en nuestro país la producción se enfocó al mercado de exportación.
- Los gustos y preferencias del consumidor mexicano, tradicionalmente e históricamente han estado dirigidos al consumo de limón agrio o limón mexicano, el cual se produce en todos los estados de la república, encontrándose desde grandes plantaciones enfocadas al mercado interno y a la agroindustria, hasta unos cuantos árboles con fines de autoconsumo.

La comercialización del limón persa en el mercado nacional es controlada por las centrales de abastos y supermercados. Cuando hay sobreproducción, los limas que no se aceptan para consumo en fresco son los que abastecen las jugueras o industrias locales. Dadas las exigencias del mercado exterior, toda la producción tiene que pasar por empacadoras, que forman el eslabón más importante de la comercialización a nivel nacional. En ellas suceden los aspectos técnicos, comerciales y socioeconómicos más importantes, dado que son el puente entre los productores y los diversos mercados (Gómez, 2016).

La producción de cítricos se ha convertido en una alternativa para las familias que habitan en las comunidades de la Sierra de Misantla, en donde el cultivo de café que constituía la base de su economía.

Para dar solución a la problemática descrita anteriormente, se planteó la siguiente metodología (Figura 1) iniciando un análisis cualitativo previo sobre la entidad económica a implementar, finalizando con el análisis de factibilidad económica.

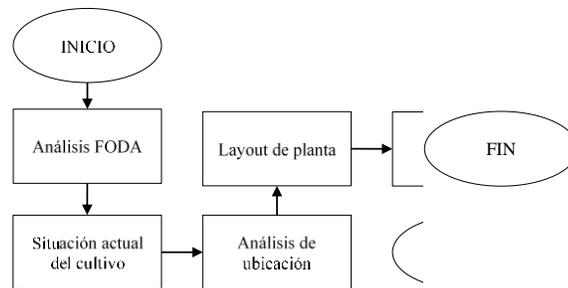


Figura 1: Metodología utilizada

Una herramienta que ayuda en el proceso de análisis de la operación de una empresa es el análisis situacional también conocido como diagnóstico F.O.D.A. por sus siglas (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), ya que es la herramienta apropiada para conocer las condiciones reales de actuación de una empresa, que facilita un buen diagnóstico y evaluación en el proceso de planeación estratégica (Ramírez, 2012). Como apoyo para la implantación de este centro de acopio el FODA brinda un panorama preliminar de los factores pro y contra que se presentan (Tabla 1).

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Relación directa con clientes definidos. • Mejor manejo de precios. • Presencia de programas anexos de apoyo al productor. • Conocimiento en herramientas propias de Ingeniería y administración, así como de Innovación tecnológica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ofertar a clientes un producto de calidad. • Desarrollo de programas de recepción y movilidad de producto bajo esquemas esbeltos.
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Complicación en la adquisición del producto. • Mercado ya manejado por competencia. • Información histórica con cierto sesgo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La mala planeación derivada de las condiciones climatológicas. • Presencia de compradores intermedios. • Volatilidad de la producción.

Tabla 1.- Análisis FODA del Centro de acopio

Para analizar la situación de la lima persa, se realizó un estudio técnico, tomando en cuenta los posibles clientes, competidores y proveedores para el centro de acopio de lima persa.

Martínez de la Torre por ser pionera de Limón persa en Veracruz, es donde se canalizan los principales clientes quienes buscan el cultivo. De acuerdo a Consejo de Productores y Exportadores de Limón Persa, A.C. (COPELP), las principales emparadoras registradas son las siguientes:

Emparadoras y Exportadoras	
León Produce S.A. de C.V.	Exportadora de Cítricos y Otros Productos del Estado de Veracruz S.A. de C.V.
B&CT Corporation S.A. de C.V.	Limones Mónica S.A. de C.V.
Citrícola Couturier S.A. de C.V.	Margarita´s Limes S.A. de C.V.
Citrícola Tropical S.A. de C.V.	PMCJ S.A. de C.V.
Cítricos Cadillo S.A. de C.V.	Wonderful Citrus
Cítricos SAAO S.A. de C.V.	Productores Selectos Natury S.A. de C.V.
Corporativo Ciprijal S.A. de C.V.	San José Tropical Fruits S.A. de C.V.
Costa de Veracruz S.A. de C.V.	Sicar S.A. de C.V.
Empaadora de Cítricos del Totonacapan S.A. de C.V.	Tropicpak S.A. de C.V.
Empaadora de Cítricos Sol S.A. de C.V.	Veca Produce S.A. de C.V.
Empaadora Paso Real S.A. de C.V.	Inverafrut S.A. de C.V.
Exportadora de Cítricos San Gabriel S.A. de C.V.	

Tabla 2.- Relación de clientes potenciales

En el caso de los competidores, en el municipio de Misantla, Veracruz, la competencia es nula sin embargo existen los recolectores informales, por lo cual no existe una empresa de este giro en la región. Lo que genera una amplia oportunidad de competir en el mercado realizando diferentes operaciones con las unidades de empaque en la zona de Martínez de la Torre.

Es necesario mencionar que existen centros de acopio en el municipio vecino, Martínez de la Torre, los cuales se enlistan a continuación:

Nombre de la empresa	Ubicación
FELIPE CASTRO SEGURA	Libramiento San Rafael - Tlapacoyan S/N, Col. San Manuel, C.P. 93604, Martínez de la Torre, Veracruz.
INDUSTRIAS CITRÍCOLAS DE MONTEMORELOS, S.A. DE C.V.	Carretera Martínez - San Rafael S/N Int. 25, Col. San Manuel, C.P. 93600, Martínez de la Torre, Veracruz.
ADRIANA MARTÍNEZ RENDÓN	Carr. Mtz de la Torre - San Rafael S/N, Col. San Manuel, C.P. 93600, Martínez de la Torre, Veracruz.
CENTRO DE ACOPIO SANTA YESSICA	Esteban Baco No. 400, Col. 1 de mayo, C.P. 93600, Martínez de la Torre, Veracruz.

Tabla 3.- Relación de competidores directos

Dentro de los posibles proveedores, se realizó una búsqueda de los principales productores de lima persa, de manera particular, el municipio de Misantla, Veracruz tiene un total de 630 productores registrados en 44 localidades, con una superficie total de 1,451.92 hectáreas, los cuales se pueden observar en la tabla 4.

Lista de Localidades Productoras de Limón Persa en Misantla, Veracruz		
Localidad	Hectáreas declaradas de Limón Persa	Total, de Productores Reportados
Arroyo Hondo	99.60	32.00
Coapeche	48.32	28.00
Colorado Chico	11.75	11.00
El Arenal	8.25	8.00
El Diamante	7.00	3.00
El lirial y el Mirasol	2.00	1.00
Francisco Sarabia	135.62	26.00
Fundo Legal	18.50	7.00
Guadalupe Victoria	0.78	1.00
Ignacio Allende	5.25	6.00

Tabla 4.- Extracto de la Relación de productores de lima persa

Con la finalidad de determinar la localización de una instalación, no solo se presentan factores de decisión posicional; también hay que tener en cuenta factores políticos que no son de interés a este estudio, factores ambientales, sociales, cercanía a materia prima, entre otros. Razón por la cual, mediante este estudio se pretende determinar la localización eficaz de un centro de acopio para lima persa. Para este paso, se empleó el método de localización por ponderaciones, estableciendo tres alternativas: Palpoala Ixcan, Arroyo Hondo y Coapeche; dando como resultado la tabla 5.

Factores	Peso Relativo	Ubicaciones					
		Coapeche		Arroyo Hondo		Palpoala Ixcan	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Cercanía a mayor volumen de productores	30%	6	1.8	8	2.4	5	1.5
	25%	7	1.75	10	2.5	6	1.5

Distancia a mercado objetivo							
Vialidad	20%	7	1.4	9	1.8	4	0.8
Disponibilidad de servicio	10%	10	1	10	1	10	1
Costos de instalación	15%	8	1.2	9	1.35	8	1.2
TOTAL			7.15		9.05		6

Tabla 5.- Localización de planta

Al analizar los puntos considerados y dentro de las ponderaciones definidas por los especialistas la mejor ubicación es Arroyo Hondo.

En atención a la distribución de planta, esta debe de planear a través del método de la distribución por producto, decisión basada en el hecho del movimiento constante y continuo del producto a través del proceso. Además de que las actividades son dependientes entre sí del paso inmediatamente anterior. El material se desplaza de una operación a la siguiente sin solución de continuidad líneas de producción, producción en cadena, por lo cual la primera estación debe ser la recepción del producto, pasando a la clasificación, para llegar finalmente a la unidad de carga, incluyendo oficinas administrativas, área de comedor y baños.

Un punto muy importante a considerar es no perder el orden lógico de la distribución de las áreas y que exista amplia comunicación entre ellas.

Para definir como se han de distribuir las áreas que integran el centro de acopio se utiliza el método SLP, que permite realizar asociaciones lógicas y concisas con respecto de la actividad realizada y los departamentos que guardan mayor relación del sistema, buscando reducir los traslados al interior de planta (Fernández, 2017), como se observa en la figura 2.

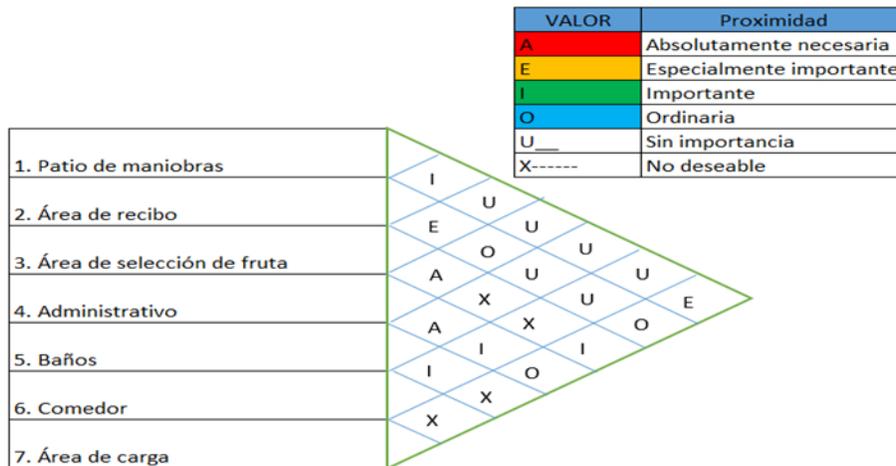


Figura 2: Aplicación del Método SLP

A raíz de las ponderaciones e interacciones asignadas mediante la resolución del método se obtiene lo siguiente:

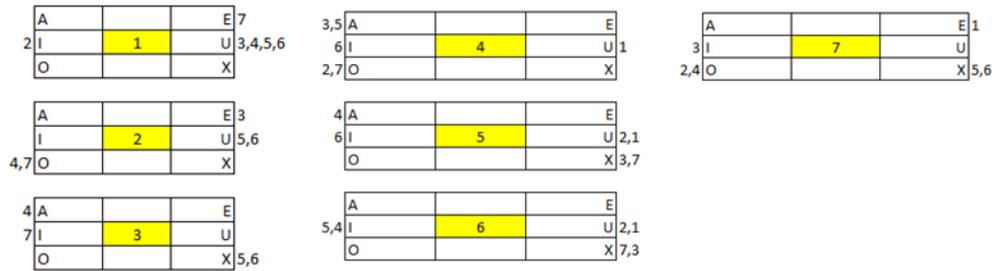


Figura 3: Resultado del Método SLP

Para el caso del centro de acopio de limón persa que se estudia, y dados los resultados del método, la propuesta de Layout se muestra en la figura 4 en forma 2D.



Figura 4: Layout del centro de acopio

3. Resultados

La creación del centro de acopio presenta un impacto alto positivo porque benefician tanto a los habitantes del sector como también fortalece el crecimiento de la unión de los agricultores para entregar sus productos a un precio adecuado.

Además, de tener un impacto positivo, porque generará empleo a los pequeños agricultores de la comunidad, al mismo tiempo que les motiva a seguir sembrando la lima persa. Incrementará los ingresos de la familia, con lo cual las condiciones de vida mejorarán.

Los efectos que ocasiona es incrementar las áreas de cultivo porque el agricultor sentirá mejor respaldo con la presencia del centro de acopio. Además, se notará el aumento de compradores. Se obtendrán mejor productividad, porque se realizarán nuevos emprendimientos de nuevos estudios, como la capacitación a los agricultores para tener una buena cosecha de su producto.

4. Conclusiones

El centro de acopio de lima persa representa una alternativa de crecimiento para los productores de la región Misantla, debido a que no se localizan competidores cercanos y los clientes potenciales se localizan aledaños a la región antes mencionada.

Mediante la aplicación de herramientas de la ingeniería como el método de localización por ponderaciones y el método SLP, se determina la localización óptima y el diseño adecuado para el centro de acopio de lima, como una alternativa de desarrollo económico.

Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo de la Beca Académica para los estudios de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, otorgado a Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, a Leslye Yamileth Garrido Quintero, y a Manuel Alejandro Caraza Morales autores de esta investigación.

5. Referencias

- Consejo estatal citrícola de Veracruz A. C. (CONCITVER). Recuperado el 02 de octubre de 2019 en: <http://www.concitver.com/PADRON/p-misantla.html>.
- Corona Vidal, Enriqueta (2015) Factores que interfieren en la comercialización y producción de limón persa (*Citrus latifolia*) en Cuitláhuac, Veracruz. Universidad Veracruzana.
- Fernández, Antonio (2017) SLP para distribución de planta. Argentina.
- Gómez Cruz, Manuel Ángel (2016) Comercialización de productos frescos para el mercado doméstico de México. CIESTAAM.
- SAGARPA. (s.f.). SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Recuperado el 03 de octubre de 2019, de <http://www.gob.mx/sagarpa>.
- Santacruz. (s.f.). Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. Recuperado el 03 de octubre del 2019, en <http://www.santacruz.gob.bo/sczproductiva/acopio>.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). México. SAGARPA. Recuperado el 03 de octubre de 2013 en: <http://www.siap.gob.mx/>
- Sullivan, W. G. (2004). Ingeniería Económica (Duodécima ed.). México: Pearson Educación.
- Ramírez, R. L. (2012). Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas. *Ciencia Administrativa* 2009-2, 54-61.
- Vega, Javier (2018) México es segundo es segundo en producción de limón. México: Debate.

6. Notas Biográficas

El **Ing. Héctor Giovany Vázquez Rodríguez**, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Tiene estudios de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Empresarial.

La **Ing. Leslye Yamileth Garrido Quintero**, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Tiene estudios de Licenciatura en Ingeniería Industrial.

El **Ing. Manuel Alejandro Caraza Morales**, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Tiene estudios de Licenciatura en Ingeniería Industrial.

Diseño de un diodo Schottky de GaAs para altas Frecuencias

Pablo Córdova Morales¹ y Luis Manuel Rodríguez Méndez²

Pablo Córdova Morales, Estudiante de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, en el área de Maestría en Ciencia en Ingeniería de Telecomunicaciones, ESIME, IPN, Ciudad de México, México, correo electrónico: b.ggar@hotmail.com

² Dr. Luis Manuel Rodríguez Méndez, es Profesor e Investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, en el área de Maestría en Ciencia en Ingeniería de Telecomunicaciones, ESIME, IPN, Ciudad de México, México, correo electrónico: lrodriguezmx@ipn.mx

Resumen— Este artículo presenta la metodología para la fabricación de un diodo Schottky de Arseniuro de Galio, como son los motivos Open y Short, contacto óhmico y contacto Schottky. Como se sabe, los diodos Schottky planares de la tecnología III-V permiten operar en el rango de Gigahertz y alcanzando el orden de los Terahertz usando multiplicadores de frecuencia. En la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional se realiza la construcción de dicho dispositivo y se espera alcanzar frecuencias del orden de los Gigahertz.

Palabra(s) clave— Diodo Schottky, contacto óhmico, contacto Schottky, técnica TLM.

Abstract— This article presents the methodology for the manufacture of a gallium arsenide Schottky diode, such as the Open and Short motifs, ohmic contact and Schottky contact. As is known, the planar Schottky diodes of the III-V technology allow operating in the Gigahertz range and reaching the order of the Terahertz using frequency multipliers. In the Section of Postgraduate Studies and Research of the Higher School of Mechanical and Electrical Engineering of the National Polytechnic Institute, the construction of said device is carried out and frequencies of the order of the Gigahertz are expected.

Key words— Schottky diode, ohmic contact, Schottky contact, TLM technique.

1. Introducción

La banda de Terahertz (THz) es una parte muy prometedora del espectro electromagnético para espectroscopía, sino también por las aplicaciones militares y comerciales. Con la creciente demanda de fuentes de THz se han desarrollado diversos dispositivos y circuitos capaces de operar hasta frecuencia de THz, como ejemplo tenemos en la figura 1 con una comparativa de las diferentes fuentes de frecuencia y su relación de potencia promedio de cada dispositivo. Una revisión exhaustiva del estado del arte de diversas tecnologías se puede encontrar en (Chattopadhyay, 2011).

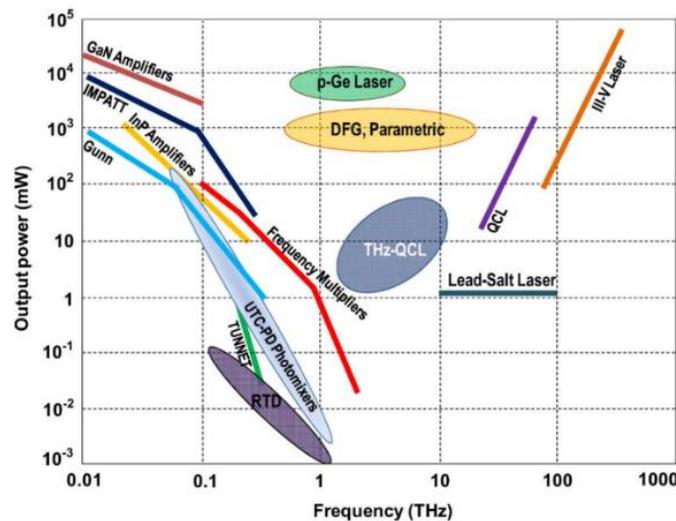


Figura 1: Potencia de salida y rango de operación de las diferentes fuentes de THz (Chattopadhyay, 2011).

Uno de los dispositivos que tienen un excelente rendimiento en altas frecuencias es el diodo Schottky, los cuales tienen ventajas de alta velocidad de conmutación y baja caída de voltaje directo sobre otros dispositivos

similares como los diodos de unión pn. Debido a este excelente rendimiento de alta frecuencia, se han utilizado ampliamente en la detección de potencia y en circuitos de microondas. Los diodos Schottky a menudo se fabrican depositando metales en sustratos de Arseniuro de Galio (GaAs) o Silicio (Si).

En los diodos Schottky, podemos encontrar diferentes estructuras en su interior, tales como contacto Whisker (Chattopadhyay, 2011), donde éstos pueden operar en frecuencia desde los 0.3THz hasta 3THz y los diodos Schottky de estructura planar, que pueden trabajar dentro del rango de los GHz y alcanzar frecuencias de operación como su contraparte utilizando multiplicadores de frecuencia.

Particularmente los diodos Schottky de GaAs con estructura planar han sido investigados considerablemente para hacerlos competir con los diodos Schottky con estructura Whisker. Los diodos Schottky de estructura planar pueden ser utilizados para construir componentes de THz altamente compactos y de bajo costo.

En este artículo presentamos en la sección de desarrollo una breve descripción de la historia y la Física de la unión metal-semiconductor, además se describen las propiedades del GaAs y las capas con las que cuenta el sustrato para fabricar el diodo Schottky y el contacto óhmico, incluyendo la topología propuesta para realizar el dispositivo y su correspondiente circuito equivalente, adicionalmente se comenta la técnica TLM utilizada para probar el contacto óhmico, concluyendo con el apartado de resultados donde se muestran las gráficas de las simulaciones realizadas en el software y la descripción de los pasos de cómo se realizó la estructura TLM y los motivos para open y short para la extracción de los elementos parásitos. Finalmente, introducimos algunas conclusiones.

2. Desarrollo

Breve historia del diodo Schottky y Física de la unión Metal-Semiconductor

La Física de la interfaz metal-semiconductor (M-S), investigada desde 1874 y patentados desde 1904. Sin embargo, no fue hasta que Schottky y Mott en 1938 explicaron este comportamiento rectificador en términos de una barrera de potencial y una redistribución de carga dentro del semiconductor (Chattopadhyay, 2011).

En el estudio de los contactos M-S introduciremos el concepto de *afinidad electrónica* (χ) que está definida por la distancia entre el nivel del vacío E_0 y el fondo de la banda de conducción E_c . χ es la energía que necesita adquirir un electrón de conducción para ser emitido fuera del semiconductor como se muestra en la figura 2 (Sharma, 1984).

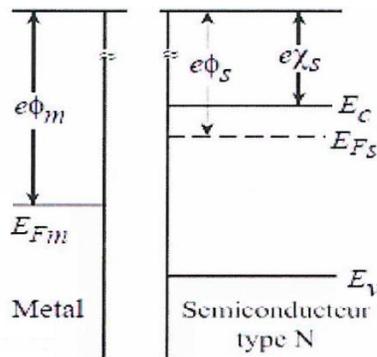


Figura 2: Diagrama de niveles de energía de un metal y un material tipo n separados (Sharma, 1984).

Supondremos que la función del trabajo del metal ϕ_m es mayor que la afinidad electrónica del semiconductor $\phi_m > \chi$, como se indica en la figura 2 que representa a los dos materiales aislados entre sí. Se puede observar además que en el semiconductor hay bastantes electrones que ocupan estados altos con relación al nivel de Fermi del metal E_{Fm} (línea punteada en la imagen izquierda).

La teoría de la unión M-S pueden surgir dos posibilidades: un contacto tipo óhmico, presentando una resistencia muy baja del metal permitiendo el paso de la corriente del metal al semiconductor y viceversa, o de tipo rectificador (llamado también contacto Schottky) que permite el paso de la corriente en un solo sentido (Sharma, 1984).

Contacto Rectificador

Para obtener un contacto rectificador, es necesario contar con un semiconductor moderadamente dopado y contar con la condición de $\phi_m > \phi_s$ se establecerá un flujo de electrones del semiconductor al metal, este flujo

crea en el semiconductor una región de carga espacial, debido a las impurezas donadoras no compensadas en esta región (con cargas positivas). Al mismo tiempo, los electrones que fluyen hacia el metal crean una densidad de carga superficial negativa, este proceso ocurrirá hasta que el campo creado equilibre la corriente de electrones (o lo que es equivalente, hasta que se igualen los niveles de Fermi de ambos materiales). Dicho proceso se indica en la figura 3, como se observa la posición del nivel de Fermi del semiconductor E_{FS} cerca del contacto se ajusta automáticamente para formar una barrera igual a la diferencia de energía $e(\phi_m - \phi_s)$, dicha barrera recibe el nombre de *barrera de Schottky*, el cual es un obstáculo para los electrones que intentan pasar del metal al semiconductor y viceversa (Sharma, 1984).

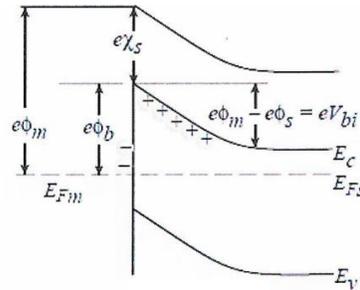


Figura 3: Diagrama de bandas de energía de la unión M-S en contacto y en equilibrio térmico (Sharma, 1984).

Contacto Óhmico

Se obtiene un contacto óhmico o no rectificante si la afinidad electrónica del semiconductor del tipo *n* es mayor que la función del trabajo del metal, como se indica en la figura 4 se observa que cerca del metal, el fondo de la banda de conducción queda debajo del nivel de Fermi. Los electrones fluyen rápidamente hacia esta depresión. Después de esto, los electrones pueden fluir sin impedimento alguno en cualquier sentido dentro de la banda de conducción del semiconductor, de modo que el contacto es óhmico (Sharma, 1984).

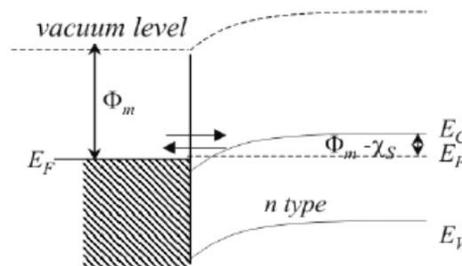


Figura 4: Diagrama de niveles de energía para un contacto M-S tipo *n* con $\phi_s > \phi_m$ en condición de equilibrio. El contacto es óhmico porque no hay barrera de potencial (Sharma, 1984).

Estos contactos carecen de resistencia en el caso ideal, pues la única resistencia es del metal y el semiconductor en sí, además de la de sus conexiones.

Propiedades del GaAs (Hernández et al., 2015)

El semiconductor que más tiene uso en la industria de la electrónica para aplicaciones de alta frecuencia es el GaAs [5], esto se debe a que los componentes fabricados con esta tecnología pueden alcanzar tiempos y velocidad de respuesta menores ($8000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ y $7 \times 10^6 \text{ cm/s}$) que aquellos de silicio ($1450 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ y $1 \times 10^7 \text{ cm/s}$) y de consumo de energía relativamente bajo ya que se requiere de un menor potencial para mover un electrón a la banda de conducción ($E_d=0.007\text{eV}$), como se muestra en la tabla I. Nótese que la movilidad de los electrones supera a la del silicio por un orden 5.

Propiedades del Material	Símbolo	Valor	Unidad
Energía de Ionización	E_d	0.007	<i>eV</i>
Movilidad de Electrones	μ_n	8000	$\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
Velocidad de saturación	V_{sat}	7×10^6	cm/s

Tabla 1.- Propiedades del GaAs a temperatura ambiente (Hernández et al., 2015).

Los componentes hechos por GaAs, desde el punto de vista tecnológico ha tenido una amplia aplicación en la fabricación de dispositivos para comunicaciones y circuitos de alta velocidad o frecuencia. Para aplicaciones a frecuencia de THz, el semiconductor típicamente usado en las estructuras M-S es precisamente GaAs dopado tipo n.

Fabricación del Sustrato (Hernández et al., 2015)

El crecimiento por MBE (Molecular Beam Epitaxy, por sus siglas en inglés) consiste en producir un grupo de átomos mediante el calentamiento de una fuente sólida del material. Este grupo de átomos viajan en UHV (Ultra High Vacuum) para impregnarse en el sustrato donde se quieren crecer las capas, dichas capas crecen con la misma morfología del sustrato. Para la muestra con la que se trabajó, se empleó este tipo de crecimiento con la finalidad de crecer capas epitaxiales de alta calidad utilizando el control de mono capas, se crecieron películas ultra-puras de semiconductores a partir de una base de sustrato de GaAs, como se muestra en la figura 5 (Hernández et al., 2015)

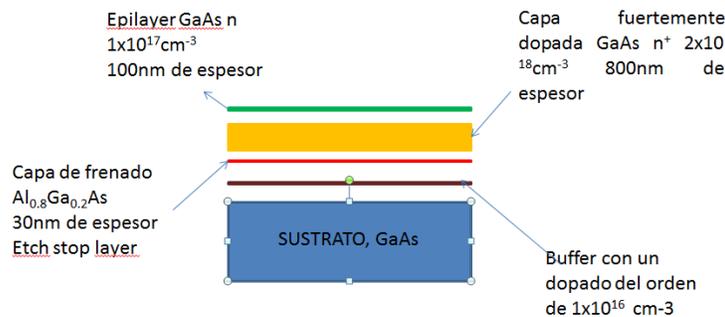


Figura 5: Capas crecidas epitaxialmente por MBE (Hernández et al., 2015).

Topología propuesta para el diodo Schottky

Los diodos Schottky de THz se pueden construir en diferentes configuraciones, tales como Whisker o de estructura planar (con canales de superficie), para el primer caso, estos dispositivos pueden alcanzar una frecuencia desde los 300 GHz hasta los 2.5THz [5], esto se debe a los pocos elementos parásitos con los que cuenta (resistencia y capacitancia) pueda tener un excelente rendimiento en el rango de los THz, sin embargo, la fiabilidad del dispositivo en esta configuración es muy reducida.

La tecnología planar elimina el frágil contacto que ofrece la configuración Whisker, haciendo al diodo más robusto y fácil de manejar, en su forma más simple, el diodo Schottky de estructura planar cuenta con el contacto óhmico y rectificante en la superficie del chip, por lo que se deben aislar eléctricamente uno del otro, como se muestra en la figura 6 (Ostdiek, 1991).

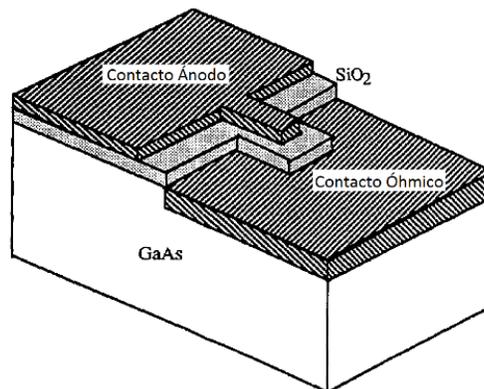


Figura 6: Diodo Schottky de estructura planar (Ostdiek, 1991).

Este tipo de configuración puede llegar a trabajar en el orden de los GHz y alcanzar los THz al reducir la superficie del contacto rectificador, por lo que para este trabajo se ha decidido construir un dispositivo (Ostdiek, 1991) de estructura planar, como el que se muestra en la figura 7.

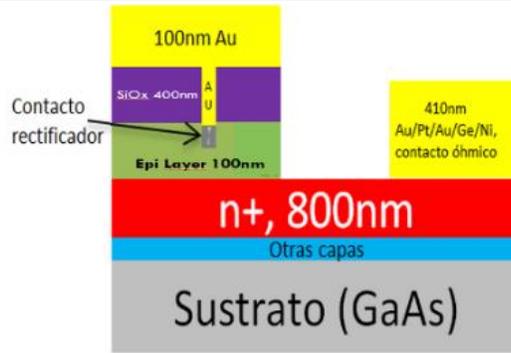


Figura 7: Corte transversal del diodo Schottky de estructura planar (Hernández et al., 2015).

La figura 5 y 6 son similares en su estructura, por lo que la figura 8 muestra el circuito equivalente de ambas topologías.

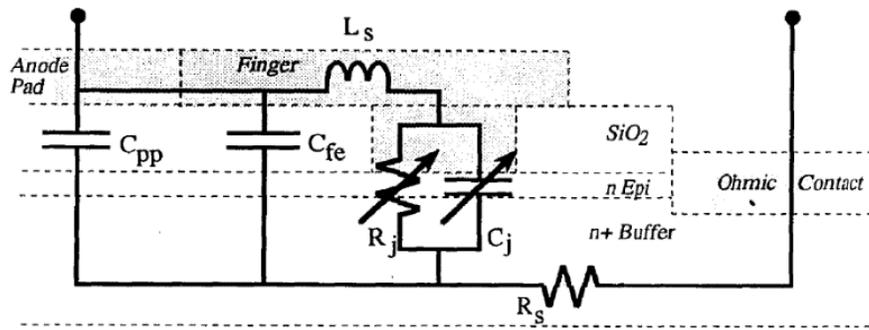


Figura 8: Patrón de caracterización del TLM (Ostdiek, 1991).

Para este apartado, se ha utilizado un simulador de circuitos, Advanced Design System de Agilent (ADS) para optimizar y obtener el modelo completo del diodo. Los alcances de esta simulación se muestran en la sección de resultados.

Prueba de la calidad del contacto Óhmico

Antes de iniciar con la construcción del diodo, se tiene que probar la calidad del contacto óhmico. Un buen contacto óhmico es aquel que tiene una resistencia pequeña ($10^{-6} \Omega cm^2$), estable térmicamente y compatible con las técnicas de fabricación del contacto rectificador (Jung, 2009)

Existen diferentes métodos para probar la calidad del contacto óhmico, uno de ellos es el TLM (Transmission Line Method, por sus siglas en inglés) el cual fue desarrollado por Shockley. Hasta ahora, este método ha sido usado para medir la resistencia del contacto óhmico, además de la resistencia de la capa semiconductor y la longitud de transferencia debajo del mismo. El TLM presenta una estructura como la que se muestra en la figura 9.

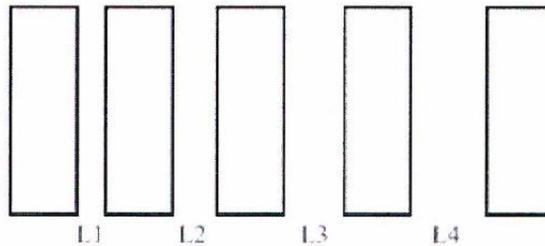


Figura 9: Patrón de caracterización del TLM (Jung, 2009).

3. Resultados

Simulación del modelo completo del diodo

En esta sección, presentamos resultados de (Gutiérrez, Zeljami, Fernández, Pascual, & Tazón, 2019) en el cual simulan los elementos parásitos de una estructura planar con puente de aire y se extrae el circuito equivalente del mismo, como se muestra en la figura 10.

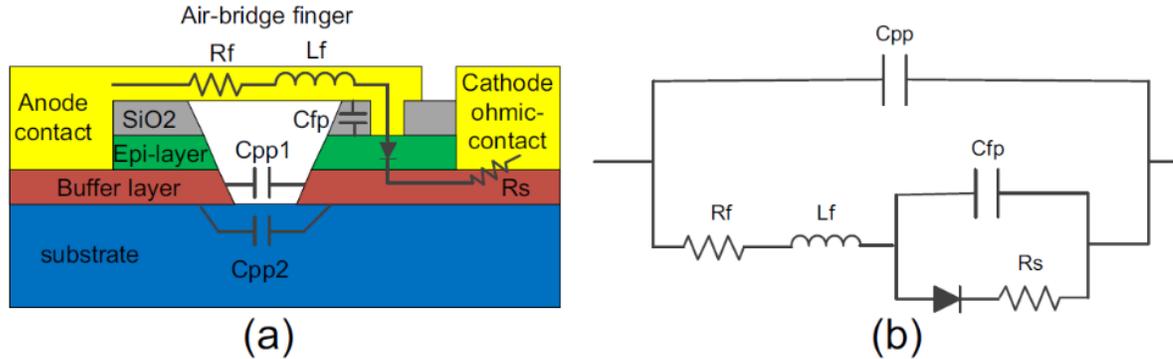


Figura 10: (a) Estructura planar de puente de aire y (b) circuito equivalente de dicha topología (Gutiérrez et al., 2019).

En la figura 10(a) se tienen tanto el contacto óhmico y rectificador en la parte superior, de la misma manera como se encuentran en la figura 7, ambos cuentan con los mismos materiales y los metales que forman ambos contactos se ubican en las mismas capas, notamos la diferencia que entre la figura 10(a) y 7 se encuentra un puente de aire. Esta cavidad que se observa es crítica para este tipo de estructura, debido a que puede mejorar el rendimiento en frecuencia del dispositivo.

Al extraer los elementos parásitos podemos hacer una simulación de estos datos y al mismo tiempo observar el comportamiento del dispositivo- Estos datos se encuentran en la tabla 2, la cual muestra los valores parásitos que fueron extraídos por medio de de-embedding, el cual es método en el que por medio de un analizador de redes se pueden conocer dichos valores.

Parámetro	Símbolo	Valor
		(Gutiérrez et al., 2019)
Resistencia serie	R_s	6.5 Ω
Capacidad pad a pad	C_{pp}	16fF
Resistencia de union	R_j	2.3 Ω
Capacidad de union	C_j	15fF
Capacidad parasite	C_{fe}	1fF
Inductancia del dedo	L_s	50pH

Tabla 2.- Valores de elementos parásitos.

La respuesta de este circuito equivalente se muestra en la figura 11, la cual cuenta con dos mediciones diferentes con la finalidad de comparar los valores obtenidos por medio de de-embedding y otro al simularse con los datos de las tablas.

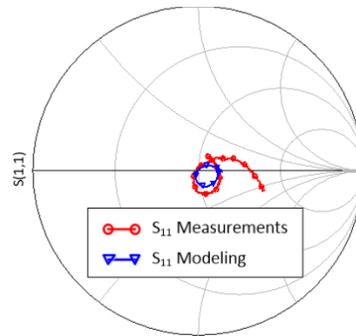


Figura 11: Resultado obtenido por medio de de-embedding (azul) y modelado (rojo) a una frecuencia desde 75 GHz hasta 110 GHz de (Gutiérrez et al., 2019) .

El resultado de la simulación nos indica que iniciando con una frecuencia de 75 GHz hasta 110 GHz tiene un buen desempeño tanto con las mediciones como con la simulación. El paso siguiente es realizar el modelado de la figura 8, por lo que obtener el valor de los parámetros S de dicho circuito equivalente, se realizan simulaciones y un análisis comparativo con los resultados obtenidos a través del software ADS. En estas simulaciones se pueden ingresar los valores de los elementos parásitos del modelo del diodo, como puede ser la inductancia del diodo L_s , la capacidad parasita entre los pads del ánodo y cátodo. Para este análisis, se diseñó el circuito equivalente de la figura 8 en el software, como se muestra en la figura 10.

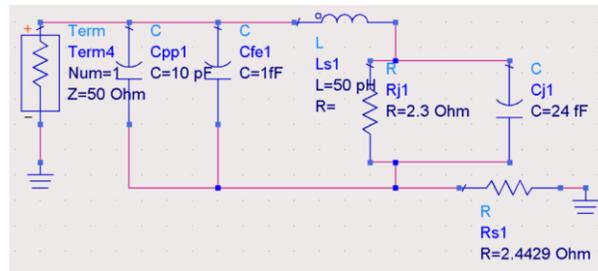


Figura 12: Simulación del circuito equivalente.

Obtener una aproximación del rendimiento del dispositivo es fundamental, ya que esto nos arrojará posibles resultados de la máxima frecuencia a la que el dispositivo puede trabajar, por lo que se consultaron diversos autores que han simulado dicha estructura con parámetros obtenidos al realizar el de-embedding, la tabla 2 muestra estos valores.

Parámetro	Símbolo	Valor		
		(Ostdiek, 1991)	(Jung, 2009)	(Zeljami, 2013)
Resistencia serie	R_s	9 Ω	6.5 Ω	2.44 Ω
Capacidad pad a pad	C_{pp}	10-20pF	16fF	15fF
Resistencia de unión	R_j	2 Ω	2.3 Ω	0-3 Ω
Capacidad de unión	C_j	15fF	10fF	24fF
Capacidad parasita	C_{fe}	1fF	1fF	1fF
Inductancia del dedo	L_s	50pH	50pH	50pH

Tabla 3.- Diferentes valores de elementos parásitos.

Para la frecuencia de 60 GHz usando los datos del autor (Ostdiek, 1991) obtenemos los siguientes resultados en la figura 11, donde en la izquierda se ubica el parámetro S11 en su forma rectangular y del lado derecho la Carta de Smith.

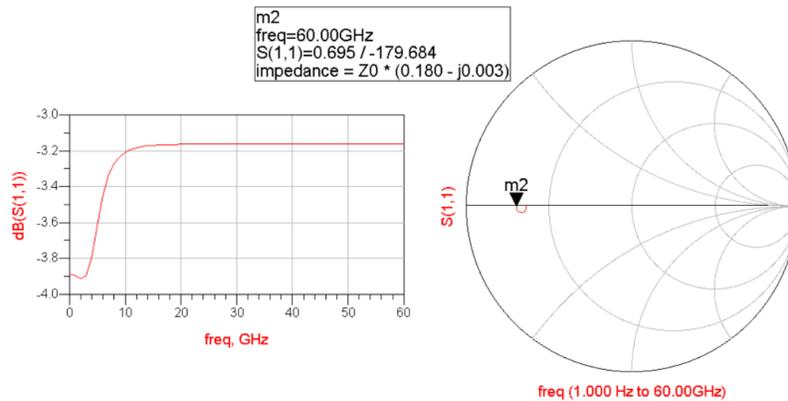


Figura 11: Respuesta del circuito equivalente usando los valores de (Ostdiek, 1991) a una frecuencia máxima de 60GHz.

Se aprecia que el parámetro de reflexión a la entrada es constante a partir de los 10GHz, esto se debe a que el valor de la capacitancia C_{pp} se encuentra con un valor de 20pF, esto limita el funcionamiento del dispositivo, por lo que solo se tomó como frecuencia máxima 60 GHz.

En la figura 12, se puede observar el rendimiento máximo en la que el dispositivo puede funcionar cuando el valor del C_{pp} es menor a los 20fF, esto en consecuencia muestra que el rendimiento del dispositivo puede ser mayor a los 100GHz.

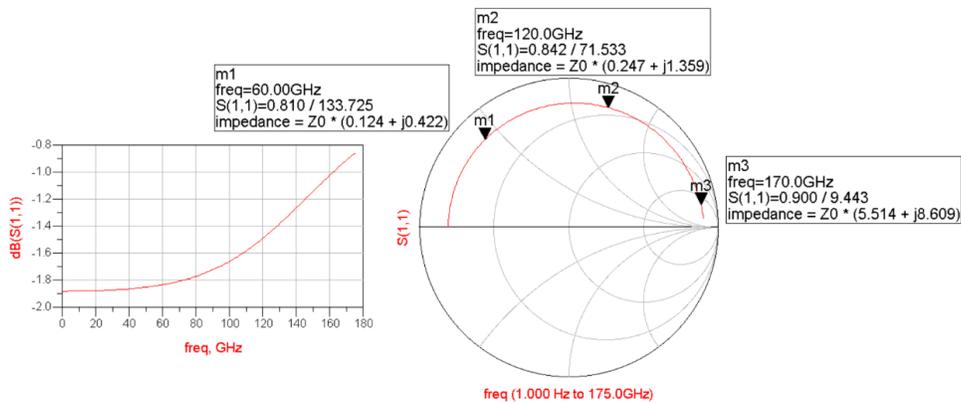


Figura 12: Respuesta del circuito equivalente usando los valores de los autores (Jung, 2009) y (Zeljami, 2013) a una frecuencia de 175 GHz.

Reducir la capacitancia pad a pad es necesaria para que el funcionamiento del dispositivo sea adecuado, esto se debe a que en la tabla 2, los autores (Jung, 2009) y (Zeljami, 2013) usaron una topología similar a la estructura planar, llamada puente de aire (Ostdiek, 1991) en el que el valor de esta capacitancia se reduce drásticamente y por consecuencia el diodo funciona a altas frecuencias.

Prueba de calidad para el contacto óhmico.

Para probar la calidad del contacto óhmico propuesto, se depositaron los siguientes materiales: Ni/Ge/Au/Ni/Au (10/60/120/20/200nm) los cuales han sido probados en trabajos previos, mostrando una muy buena calidad de contacto (Jung, 2009), por esta razón se ha decidido usar esta misma estructura de materiales y verificar la calidad mediante el método TLM.

Para verificar el contacto óhmico, es necesario trabajar en la capa GaAs n+, por lo que se ha colocado el PMMA (Polimetil-metacrilato) en la capa de GaAs n+, la cual debe tener un espesor de 410 nm, superior a la metalización deseada, en esta resina, se han realizado los motivos propuestos por medio de litografía electrónica

en el Centro de Investigación en Computo del IPN, el proceso consta de varios pasos, el primero es dibujar en el programa de diseño NanoSuite la estructura TLM. Para esta etapa, se proponen dos geometrías de TLM de diferentes autores (Jung, 2009) y (Jenabi, 2017) como se muestra en la figura 13.

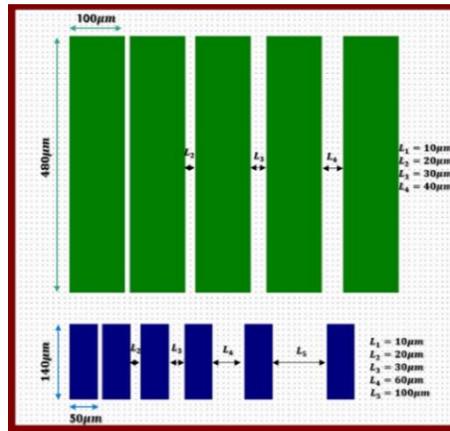


Figura 13: Diferentes motivos propuestos para medir la calidad de los contactos óhmicos.

Se observa que, entre los contactos, la distancia va aumentando. Se han dibujado 2 propuestas de TLM diferentes para comparar los resultados y determinar cual tiene mejor desempeño.

Posteriormente se coloca la muestra dentro del equipo que realizará el grabado, este proceso se lleva a cabo por litografía de haz de electrones (conocido también como e-beam) el cual solo ataca las áreas diseñadas previamente. Este procedimiento puede llevarse varias horas en función del área, esto se debe a que el haz de electrones cuando ataca un área pequeña (nanómetros) el tiempo puede ser de minutos, por otro lado, si el patrón se encuentra en micrómetros, el tiempo de trabajo puede tomarle varias horas, una ventaja del equipo eLine Plus de la compañía RAITH Nanofabrication es que tiene la capacidad de proporcionar un estimado del tiempo en el que realiza el proceso de grabado, al tratarse de una matriz de 90 estructuras TLM con medidas en micrómetros, el tiempo en elaborar sería aproximadamente de un día, por lo que se optó por solo dos estructuras, el cual redujo el tiempo estimado a 1 hora y 30 minutos.

Después de retirar la muestra del equipo, se ha realizado el revelado del diseño, esto consiste en introducir la muestra en una solución compuesta por Metil-Isobutil-Cetona durante 60 segundos y seguidamente se sumerge el sustrato en alcohol isopropílico (propanol) durante 10 segundos, el cual ataca solo la zona donde el haz de electrones ha incidido, finalmente se vuelve a colocar la muestra dentro del equipo para observar los resultados, esto se puede apreciar usando el mismo microscopio, el cual consta con una resolución máxima de 10 nm, en nuestro caso la resolución usada fue de 100 μm, como se puede apreciar en la figura 14.



Figura 14: Resultado del proceso de litografía electrónica, en el cual se aprecian las dos estructuras TLM, con sus bordes y separaciones de cada propuesta claramente definidos y sin defectos sobre la superficie de cada patrón diseñado.

Los metales que forman el contacto óhmico fueron depositados en la SEPI de la ESIME Azcapotzalco. Enseguida, se realiza un *lift off* el cual consiste en retirar la resina que rodea al metal para un posterior recocido de los materiales a una temperatura de 400°C durante 15 segundos, esto con el objetivo de tener una mejor adherencia entre los metales.

Mediante el uso de una máquina de puntas y un electrómetro se realizarán las mediciones para la extracción de las curvas I-V con lo que se podría caracterizar la calidad del contacto óhmico, como se muestra en la figura 15.

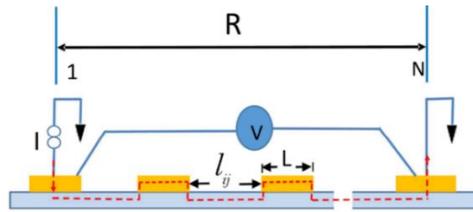


Figura 15: Relación voltaje-corriente entre los contactos óhmicos desde 1 hasta N, las líneas rojas punteadas representan el flujo de la corriente en los contactos óhmicos (Mimila-Arroyo & Herrera-Bernal, 2017)

Para medir la resistencia del contacto óhmico, se grafican los resultados como en la figura 16.

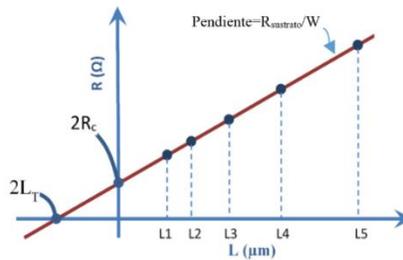


Figura 16: Resultado de cada contacto óhmico (Mimila-Arroyo & Herrera-Bernal, 2017)

Donde R_c es la resistencia del contacto con unidades en Ω , $R_{substrato}$ es la resistividad de la oblea donde está colocado cada pad para la medición, W es el ancho y L la longitud de cada rectángulo, la línea roja representa la calidad del contacto a diferentes distancias entre los pads, si la línea tiende a ser horizontal, el contacto óhmico será de buena calidad (baja resistencia), por otro lado, si la línea tiende a ser más vertical, el contacto será de mala calidad

Extracción de los elementos parásitos por medio de De-embedding

Antes de construir el diodo Schottky, es necesario conocer los parásitos resistivos, capacitivos e inductivos que agregarán los motivos de acceso al diodo, para esto se obtiene el circuito equivalente de las configuraciones de extracción como se muestra en la figura 17.

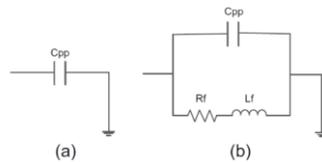


Figura 17: Circuito equivalente de las configuraciones: a) diodo abierto (diode-open) b) diodo en corto (diode-short).

Se han diseñado los motivos de la figura 18, los cuales tienen la geometría para acoplar las puntas coplanares de medición en RF, mostrado en la figura 8, a fin de poder realizar más adelante el procedimiento de de-embedding, acción que permite retirar de la medición en RF la contribución de los planos de acceso al dispositivo.

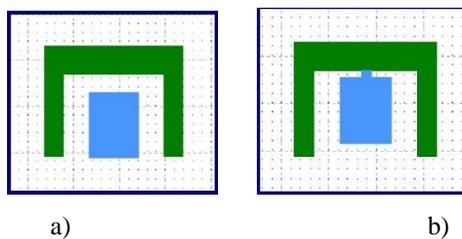


Figura 18: a) circuito abierto y b) corto circuito.

La obtención de estos datos permitirá posteriormente realizar el circuito equivalente del diodo Schottky e introducir los valores correspondientes a cada elemento del circuito.

4. Conclusiones

Este documento describió una metodología para el desarrollo de un diodo Schottky, la prueba de calidad del contacto óhmico a base de una aleación de Ni/Ge/Au/Ni/Au (10/60/120/20/200nm) los cuales ofrecen una baja resistividad ($<10^{-6}\Omega\text{cm}^2$). La técnica de medición de resistividad está basada en el método TLM, para esto se proponen 2 geometrías de TLM a fin de determinar con mayor precisión la resistividad efectiva del contacto Óhmico. Se diseñaron las estructuras TLM para medir la calidad del contacto. El ataque de la estructura TLM ha sido satisfactorio, ya que se ha observado a través del microscopio electrónico un acabado sin defectos en la superficie, por lo que el depósito de los metales fue homogéneo. Se redujo el tiempo de grabado a una hora gracias a que solo se tomaron dos estructuras TLM de la matriz propuesta anteriormente.

Finalmente, las simulaciones nos pueden dar un aproximado del rendimiento del dispositivo añadiendo los elementos parásitos que se encuentran en bibliografías, además, para tener un buen rendimiento del dispositivo es crítico reducir el valor C_{pp} , esto permitirá al dispositivo que opere a más de 100GHz, como se indicó en la topología con puente de aire, aun así, es aceptable que el dispositivo muestre una frecuencia máxima de 60 GHz con un C_{pp} de 20pF.

En la fabricación del dispositivo se han considerado diverso pasos y métodos para realizar tanto el contacto óhmico el cual tiene que ser fabricado y probado primero con la técnica TLM, después de probar su calidad se realizan los pasos necesarios para hacer este contacto y posteriormente el contacto Schottky.

Los autores agradecen al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico brindado a través del proyecto SIP/20196049.

5. Referencias Bibliográficas

- Chattopadhyay, G. (2011). Technology, Capabilities, and Performance of Low Power Terahertz Sources. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(1), 33–53. <https://doi.org/10.1109/THZ.2011.2159561>
- Gutiérrez, J., Zeljami, K., Fernández, T., Pascual, J. P., & Tazón, A. (2019). Accurately Modeling of Zero Biased Schottky-Diodes at Millimeter-Wave Frequencies. *Electronics*, 8(6), 696. <https://doi.org/10.3390/electronics8060696>
- Hernández, E. L., Manuel, L., Méndez, R., Miguel, L., Albarrán, D., & Valdéz, D. (2015). *Fabricación de diodo Schottky basado en GaAs para aplicaciones THz*. 1–5.
- Jenabi, S. (2017). *Design, Fabrication and Characterization of Terahertz Planar Schottky Diode*. Université de Sherbrooke.
- Jung, C. (2009). *Conception et Fabrication de circuits intégrés basés sur les nano-diodes Schottky GaAs fonctionnant aux fréquences THz et sub-THz pour les récepteurs hétérodynes spatiaux dédiés à l'Astronomie*. Université Paris-Sud 11.
- Mimila-Arroyo, J., & Herrera-Bernal, M. G. (2017). Extension of Shockley's transmission line method (TLM) to characterize ohmic contacts. *Semiconductor Science and Technology*, 32(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6641/aa6310>
- Ostdiek, P. H. (1991). *Integration of an Anti-parallel Pair of Planar Schottky Barrier Diodes for Millimeter and Submillimeter Wavelengths*. University of Virginia.
- Sharma, B. L. (1984). *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications* (1st Editio). Delhi, India: Plenum Press. New York and London.
- Zeljami, K. (2013). *Caracterización y Modelado de Dispositivos Semiconductores Para Uso en Sistemas de Telecomunicaciones a Frecuencias de Terahercios*. Universidad de Cantabria.

Estudio técnico preliminar del proceso de producción de xilanasas a partir de bagazo de caña de azúcar bajo un esquema de desarrollo sostenible

Mariela Rodríguez Graatz, I.I.¹, Dr. David Reyes González², Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga³.

Mariela Rodríguez Graatz, Ingeniero Industrial, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. mariel_gratz@hotmail.com.

² El Doctor David Reyes González, es el coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. dreyesg@itsm.edu.mx.

³La Doctora. María Guadalupe Aguilar Uscanga, es profesora Investigadora en el Instituto Tecnológico de Veracruz-UNIDA, Veracruz. gaguilar@itver.edu.mx. maria.au@veracruz.tecnm.mx

Resumen— Las xilanasas son enzimas hidrolíticas que catalizan la degradación de la hemicelulosa, rompiendo los enlaces glicosídicos β -(1-4). Estas enzimas tienen diversas aplicaciones industriales como en los alimentos, panificación, pulpa y papel, y actualmente, en la producción de etanol de segunda generación (2G). El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio técnico preliminar para la producción de xilanasas a partir de bagazo de caña de azúcar

bajo un esquema de desarrollo sostenible. Para ello se realizó un análisis del proceso de obtención de xilanasas, la identificación de los equipos, la determinación del tamaño óptimo de la planta y su localización. A partir de esto se obtuvo un diagrama de proceso, en el que se presenta actividades, tiempos y balance de materia, donde se determinó que para obtener 800 L/ día de xilanasas se requieren 200 kg de bagazo de caña. De los residuos orgánicos derivados del proceso se obtienen subproductos, como: ácido ferúlico y biofertilizantes. El tamaño de la planta de acuerdo con la producción estimada tiene una superficie de 1,000 m². El presente estudio es una base para realizar la validación de la producción de xilanasas en planta piloto y su escalamiento a nivel industrial.

Palabra(s) clave— xilanasas, bagazo de caña, etanol 2G, desarrollo sostenible.

Abstract— Xylanases are hydrolytic enzymes that catalyze the degradation of hemicellulose, breaking down glycoside's bonds-(1-4). These enzymes have various industrial applications such as in food, baking, pulp and paper, and currently, in the production of second-generation ethanol (2G). The objective of this work was to conduct a preliminary technical study to produce xylanases from sugarcane bagasse under a sustainable development scheme. To do this, an analysis of the process of obtaining xylanases, the identification of the equipment, the determination of the optimal size of the plant and its location were carried out. From this a process diagram was obtained, presenting activities, times and balance of matter, where it was determined that to obtain 800 L / day of xylanases 200 kg of cane bagasse is required. By-products are obtained from organic waste derived from the process, such as: ferulic acid and biofertilizers. The size of the plant according to the estimated production has an area of 1,000 m². This study is a basis for the validation of xylanases production in pilot plant and its scale at an industrial level.

Key words— Xylanases, sugarcane bagasse, ethanol (2G), sustainable development.

1. Introducción

En la actualidad alrededor del 90% de las necesidades energéticas de nuestro planeta son satisfechas por combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), (Arango y Arroyave, 2016). Estos combustibles son no renovables, altamente contaminantes, y son utilizados de forma ineficiente, debido al interés económico de la producción de energía sin considerar su impacto ambiental, sin embargo, con el desarrollo de la biotecnología, la utilización de microorganismos se ha elevado progresivamente en diversos procesos industriales, permitiendo el surgimiento de nuevas alternativas de generación de energías totalmente renovables, que pretenden lograr un desarrollo sostenible, debido a que reducen el impacto ambiental disminuyendo la cantidad de CO₂ que existe en la atmósfera; una de estas alternativas es la producción de biocombustibles, entre los cuales se encuentra el etanol de segunda generación (2G). Para el proceso de producción de etanol 2G se utilizan como materia prima principalmente residuos lignocelulósicos del sector agrícola, agroindustrial y forestal. En dicho proceso una de las etapas principales es la hidrólisis enzimática, realizada principalmente por enzimas como celulasas y xilanasas, las cuales hidrolizan polisacáridos de estructura compleja como celulosa y hemicelulosa para obtener

azúcares fermentables. Sin embargo, esta etapa es crítica en el proceso, debido a los altos costos de las enzimas comerciales, limitando la factibilidad técnica y económica del proceso de etanol 2G, a nivel industrial (Sukumaran, *et al.*, 2009; Phitsuwan, *et al.*, 2012).

Las xilanasas tienen importantes aplicaciones en diversas áreas como la industria alimentaria, textil, detergentes, en la industria de la pulpa y el papel y actualmente en la producción de biocombustibles. Las aplicaciones más relevantes de las xilanasas se encuentran en la industria alimentaria, por ejemplo, en los alimentos y bebidas, estas enzimas se utilizan para clarificar los jugos y vinos, y para extracción de café y aceites vegetales (Subramaniyan y Prema, 2002), así como en la industria de la pulpa y el papel para el proceso de blanqueamiento.

La producción de estas enzimas ha sido ampliamente estudiada, siendo los factores más importantes en el proceso de producción, el microorganismo que se utilice (hongo o bacteria), las condiciones fisicoquímicas (temperatura, agitación y pH), el medio de cultivo (sintético u orgánico) el cual incluye fuente de carbono, fuente de nitrógeno y microelementos, y el sistema de fermentación en el que se lleve a cabo, ya sea por fermentación sumergida o fermentación en estado sólido, siendo la fermentación sumergida la técnica utilizada a nivel industrial (Adsul, *et al.*, 2005; Acharya, *et al.*, 2008; Sohail, *et al.*, 2009; Machado, *et al.*, 2009; Singhanian, *et al.*, 2010; Akinyele y Olaniyi, 2013; Acevedo *et al.*, 2014).

La producción de las xilanasas es realizada principalmente por hongos filamentosos, de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, y *Trichoderma*, puesto que se ha reportado que expresan altos niveles de xilanasas en medios de fermentación en comparación con otros microorganismos (Chávez *et al.* 2006; de Vries y Visser 2001). Una de las alternativas es el uso de residuos lignocelulósicos como fuente de carbono para los microorganismos, los cuales aprovecharán este material como inductor para la expresión de xilanasas, excretando estas enzimas al medio de cultivo. En general, las características de los residuos agrícolas, agroindustriales y forestales son muy variadas, y dependen de la materia prima y del proceso que los generó, no obstante, comparten como característica principal el contenido de materia orgánica, constituida por diferentes porcentajes de celulosa, hemicelulosa y lignina. Dentro de la producción de enzimas de aplicación industrial existe una gran variedad de residuos lignocelulósicos que pueden ser aprovechados para este fin.

La materia prima que se utiliza en este estudio es el bagazo de caña de azúcar como también lo reporta (Díaz *et al.*, 2019), quienes realizaron una evaluación con diferentes residuos lignocelulósicos como sustrato, los cuales fueron: Bagazo de yuca, Aserrín de pino, Aserrín de eucalipto y Bagazo de caña, bajo las siguientes condiciones de operación 28°C, pH 4.8, 100 rpm, durante 8 días; obteniendo la mayor actividad xilanasas (32.05 UI/mL) a partir del bagazo de caña. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*) es una gramínea tropical, de tallo macizo de 2 a 5 m de altura, de 5 a 6 cm de diámetro, cilíndrico, dividido en nudos y entrenudos alargado y sin ramificaciones, en esta parte de la caña se acumula un jugo rico en sacarosa, de este jugo al ser extraído y cristalizado se obtiene el azúcar (SADER, 2017). Al residuo de los tallos exprimidos se le conoce como bagazo, es el resultado después del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar, este corresponde generalmente al 25% del peso total y contiene entre 60-80% de carbohidratos. Sun *et al.*, (2004) ha reportado que una tonelada de caña de azúcar genera entre 280 a 300 kg de bagazo de caña, Por lo que la fermentación de los carbohidratos de este material podría incrementar significativamente la productividad de etanol en la industria alcoholera, así como la sostenibilidad del proceso, sin embargo, el bagazo se desecha como residuo agrícola o es quemado para el suministro de energía en las calderas de las fábricas de azúcar y etanol.

Debido a que las xilanasas tienen un gran potencial biotecnológico para diversos procesos industriales (Akpınar *et al.* 2009; Beg *et al.* 2000; Camacho y Aguilar 2003; Twomey *et al.* 2003), se producen actualmente a nivel industrial en algunos países, los cuales mantienen el control de su producción y distribución (Beg *et al.* 2001); creando monopolios que mantienen muy restringida su disponibilidad y elevando los costos de las mismas lo que conlleva a la mitigación de proyectos detonantes como lo es el etanol de segunda generación en países como México y otros que no cuentan con tecnología propia para producir estas enzimas.

A nivel mundial la producción de xilanasas se encuentra encabezada por Novozymes, siendo líder en el mercado con 48% de las ventas y en segundo lugar DuPont con un estimado del 19% (The Novozymes Report, 2016). Además de existir otras 15 compañías localizadas en Europa, Asia y América dedicadas a dicha producción. En México no se cuenta con un proceso de producción de xilanasas, dependiendo totalmente de la importación. Una alternativa a esta problemática es la búsqueda y el desarrollo de nuevos procesos para la obtención de xilanasas. Dadas las necesidades energéticas globales, el posicionamiento del bioetanol como bioenergético, el impacto de los biocombustibles de segunda generación y la importancia del uso de enzimas altamente eficientes en este sistema. El objetivo de este trabajo es realizar un estudio técnico preliminar del proceso de producción de xilanasas a partir de bagazo de caña de azúcar bajo un esquema de desarrollo sostenible.

2. Desarrollo

Estudio técnico

El presente estudio permite analizar el proceso de producción de las xilanasas que comprende identificar las materias primas, los equipos, la maquinaria, y las instalaciones necesarias para el proceso (Baca, 2010). Para realizar este trabajo se partió de la información obtenida por un grupo de investigadores del laboratorio de bioingeniería que se encuentra en el Instituto Tecnológico de Veracruz, en dicho centro de trabajo se realizan investigaciones experimentales en donde se produce la enzima xilanasas a nivel laboratorio.

Proceso de producción

El proceso de producción es la forma en que una serie de insumos se transforman en productos mediante la participación de una determinada tecnología (combinación óptima de mano de obra, maquinaria, métodos y procedimientos de operación, entre otros.). Para hacer el análisis de la producción de xilanasas se realizó mediante la herramienta de diagrama de flujo del proceso, que es una representación gráfica completa para que el proceso ocurra, este diagrama abarcó las entradas, actividades, datos, reglas, control de calidad, y salidas del proceso. Cabe mencionar que se contó con los datos obtenidos de (Ramírez, 2019) utilizando como materia prima bagazo de caña de azúcar con el microorganismo *Aspergillus tamarrii* BCH2 con las siguientes condiciones de operación: 30° C, 200 rpm y pH 5.5, que obtuvo una actividad xilanasas de 10.9 UI/ml.

Microorganismo

La cepa que se utilizó fue *Aspergillus tamarrii*, el cual es un hongo autóctono que fue aislado del bagazo de caña de azúcar, este microorganismo posee características potenciales para la producción de xilanasas, dicho microorganismo fue conservado en tubos y placas con medio PDA (Tabla 1) a 4°C, con resiembras cada 30 días.

Componentes	Cantidad (g/L)
Extracto de levadura	10
Peptona de caseína	20
Dextrosa	20
Agar	25

Tabla 1. Medio PDA para la conservación de la cepa.

Preparación del inóculo

La activación de la cepa se realiza mediante una solución de Tween 80 al 0.1% estéril para el arrastre de las esporas, colocando 10 mL a cada tubo que contenía las cepas.

La fermentación sumergida se realiza utilizando un medio de cultivo en solución de trazas de Mandels y Weber (1969) como se muestra en la Tabla 2. El medio se esteriliza en autoclave a 121 °C y 1 atmósfera de presión durante 15 min. Y para la determinación de la actividad xilanasas se utiliza xilano como sustrato (Costa *et al.*, 2010), y la técnica de azúcares reductores de acuerdo con el método de Miller (1959), en el que se usa el reactivo DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico, que es color amarillo) que al reaccionar con dichos azúcares (para este caso es xilosa) se reduce a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico de color rojo ladrillo, las mediciones se realizan determinando la absorbencia a 540 nm (Costa *et al.*, 2010).

Posteriormente se toman las lecturas de absorbencia de las muestras y se realizan los siguientes cálculos para obtener la actividad xilanasas (UI/mL).

Compuesto	Cantidad (g/L)
KH ₂ PO ₄	2.0
MgSO ₄ H ₂ O	0.3
CaCl ₂ 2H ₂ O	0.3
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.4
FeSO ₄ 7H ₂ O	5.0
MnSO ₄ 7H ₂ O	1.6
ZnSO ₄ H ₂ O	1.4
CuSO ₄ 5H ₂ O	1.0
Peptona	0.5
Carbohidrato	10

Tabla 2. Medio de trazas de Mandels y Weber (1969).

Una unidad de actividad xilanasas se define como la cantidad de enzima capaz de liberar 1 μmol de xilosa por minuto (ecuación 1) bajo condiciones estándares evaluadas de pH y Temperatura.

$$1 \text{ UI/mL} = \frac{1 \mu\text{mol de xilosa liberada}}{1 \text{ min}}$$

Ecuación 1

Cálculo de Unidades por mililitro:

1. Construir una curva estándar de xilosa con una concentración máxima de xilosa de 2 g/L, graficando contra la Absorbencia a 540 nm.
2. Usando esa línea estándar, obtener los valores de absorbencia de las muestras de la reacción entre la enzima y el sustrato.
3. Graficar la absorbencia de esta reacción contra el tiempo y obtener la pendiente.
4. Calcular UI (ecuación 2):

$$\text{UI/mL} = \left(\frac{m_1}{m_2}\right) * (\text{FD}) * \left(\frac{1\mu\text{mol}}{150.13\mu\text{g}}\right) * \left(\frac{1000\mu\text{g}}{1\text{mg}}\right)$$

Ecuación 2

Donde:

m₁= Pendiente de la absorbencia contra tiempo de la muestra

m₂= Pendiente de la línea estándar de xilosa

FD= Factor de dilución

Maquinaria y equipo

Para la selección de los equipos que intervienen en la producción de xilanasas, se realizó primero un análisis de las actividades para determinar la maquinaria, después se consultaron diferentes proveedores para verificar la capacidad de operación y características del equipo. El Instituto Tecnológico de Veracruz tiene una planta piloto de etanol de primera y segunda generación, esta planta tiene equipos adecuados que pueden ser utilizados la producción de estas enzimas, debido a que se realizó un escalamiento hay algunos equipos que son aplicables a este proceso.

Localización y distribución de planta

La determinación del sitio en donde se instalará la planta debe ser el óptimo porque es lo que contribuye a mayor medida que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital, así como también a obtener el costo unitario mínimo del producto (Baca, 2010). La localización se realizó haciendo una evaluación de los factores de mayor relevancia (geográficos, sociales y económicos), para posteriormente hacer una comparación cuantitativa de los diferentes sitios, donde el factor de preferencia fue la materia prima. La distribución de la planta tiene que ser un sistema ordenado que permita la maximización de beneficios y minimización de recursos, pero dicha interacción debe tener un soporte físico de los elementos industriales, esta ordenación, incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento del material, almacenamiento, trabajadores, como todas las otras actividades o servicios, incluido el mantenimiento (Sapag, 2008). De acuerdo con la producción de xilanasas, la distribución de la planta fue enfocada a la minimización del recorrido de los materiales y a la seguridad al realizar las actividades que se mencionan en el diagrama de flujo del proceso, así como también se tomó en cuenta las características de los equipos y de la maquinaria.

3. Resultados

Para la determinación de la ubicación de la planta, la materia prima es el factor de mayor relevancia que se consideró, así que la planta de producción de xilanasas estará ubicada en Veracruz debido a que es el estado que ocupa el primer lugar con la tercera parte de la producción nacional de caña de azúcar, es decir, más de 21 millones de toneladas de los casi 57 millones que produce el país al año (SADER, 2017). En México la industria azucarera representa altas producciones y relevancia económica y social, los estados con mayor producción se muestran en la Tabla 3.

Estado	Producción (%)
Veracruz	37.5
Jalisco	13.5
San Luis Potosí	7.7
Oaxaca	7.1
Tamaulipas	6

Tabla 3.- Estados productores de caña de azúcar en México.

Proceso de producción de xilanasas

El presente estudio se realizó considerando un proceso basado en un modelo de planta piloto, que puede ser escalable a nivel industrial, con el cual se busca satisfacer la demanda de enzimas de una planta de producción de etanol que tenga la capacidad de procesar 20 toneladas por día de residuos lignocelulósicos, la cual requiere un volumen de 800 litros de xilanasas diarios. A continuación, en la Figura 1 se muestra el diagrama de proceso de producción de xilanasas el cual presenta las actividades del proceso, los tiempos y el balance de materia.

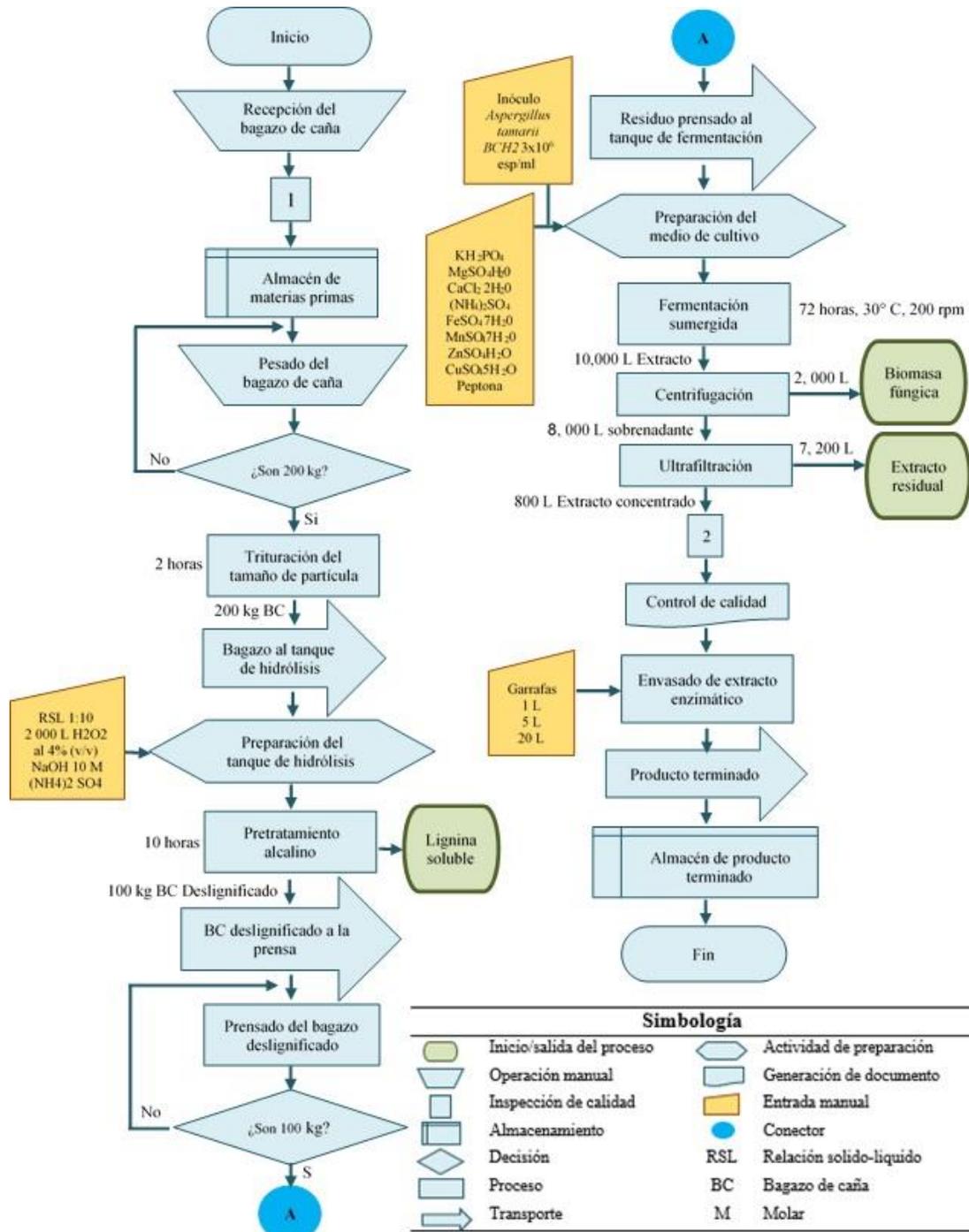


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de producción de xilanasas a partir de bagazo de caña de azúcar

Para la producción de xilanasas, se utilizan residuos lignocelulósicos compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, estos son triturados para disminuir el tamaño de partícula, después son sometidos a un pretratamiento alcalino donde el residuo es deslignificado, con el objetivo de aprovechar la hemicelulosa en una fermentación sumergida a ciertas condiciones de operación, en donde el microorganismo expresará las xilanasas al medio de cultivo, después del tiempo de fermentación el producto de esta etapa se llevará a una centrifugación para recuperar las enzimas y finalmente a una ultrafiltración para obtener un extracto concentrado con una alta actividad enzimática. En el proceso de producción de xilanasas se generan algunos residuos orgánicos, sin embargo, estos pueden ser aprovechados para la generación de otros productos de alto valor agregado como se muestra en la Tabla 4.

Etapa	Residuo	Uso (Subproducto)
Pretratamiento alcalino	Lignina soluble	Ácido ferúlico
Centrifugación	Biomasa fúngica	Biofertilizante Pellets
Ultrafiltración	Extracto residual	Biofertilizante

Tabla 4.- Residuos orgánicos generados en el proceso de obtención de xilanasas y sus usos

De acuerdo con la Tabla 4, los residuos que se generan en cada etapa del proceso de producción de xilanasas, se encuentran en las corrientes de salida del proceso, y tienen diversas aplicaciones biotecnológicas; en este sentido, del pretratamiento alcalino que es la segunda etapa del proceso, se genera una corriente rica en lignina, que puede ser aprovechada para la obtención de compuestos fenólicos, como el ácido ferúlico, el cual es ampliamente utilizado como ingrediente esencial de las cremas corporales de protección solar; así mismo, de la etapa de centrifugación al separar el sobrenadante de la parte sólida se obtiene una biomasa fúngica, debido a que está compuesta por esporas, carbohidratos y fuentes de nitrógeno que no fueron totalmente consumidos durante la fermentación, dicha biomasa se puede utilizar para la formulación de consorcios microbianos, que pueden ser usados como biofertilizantes; y finalmente, de la última etapa que es la ultrafiltración, se obtiene un extracto residual, que puede ser adicionado a los consorcios microbianos para la obtención de biofertilizantes

Para llevar a cabo la producción de xilanasas a nivel industrial se requiere de la siguiente materia prima, equipo y maquinaria con sus cantidades para una producción diaria de 800 L de xilanasas, como se muestra en la Tabla 5, dichos insumos y recursos están incluidos en el diagrama de flujo del proceso (Figura 1).

Materia Prima	Fórmula química	Equipo	Unidad
Bagazo de caña		Centrifuga	1
Hidróxido de sodio	NaOH	Tanque de Hidrolisis alcalina	3
Peróxido de hidrogeno	H ₂ O ₂	Fermentador	4
Fosfato de potasio monobásico	KH ₂ PO ₄	Picadora para residuo	1
Sulfato de magnesio heptahidratado	MnSO ₄ ·7H ₂ O	Prensa	1
Cloruro de calcio hidratado	CaCl ₂ ·2H ₂ O	Banda Transportador	1
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	Caldera	1
Sulfato ferroso heptahidratado	FeSO ₄ ·7H ₂ O	Autoclave	1
Sulfato de manganeso heptahidratado	MgSO ₄ ·H ₂ O	Campana Flujo Laminar	1
Sulfato de zinc hidratado	ZnSO ₄ ·H ₂ O	Incubadora	1
Sulfato de cobre pentahidratado	CuSO ₄ ·5H ₂ O	Equipo de laboratorio y control de calidad	1
Tween 80	C ₆₄ H ₁₂₄ O ₂₆	Equipo de separación y purificación	1
Agar medio PDA		Paletizadora	1
Peptona de caseína		Secadora de charolas	1

Tabla 5.- Materia prima y maquinaria utilizada para la producción de xilanasas

A partir del estudio de la determinación del tamaño de la planta considerando la maximización de beneficios y minimización de recursos se obtuvo que para una planta con una capacidad de producción de 800 L diarios de xilanasas, se requiere un área superficial de 1,000 m², la cual cuenta con la disponibilidad y distribución adecuada de los equipos, maquinaria, almacenes, laboratorio y espacios de movimiento y administrativos, como se muestra en la Figura 2.

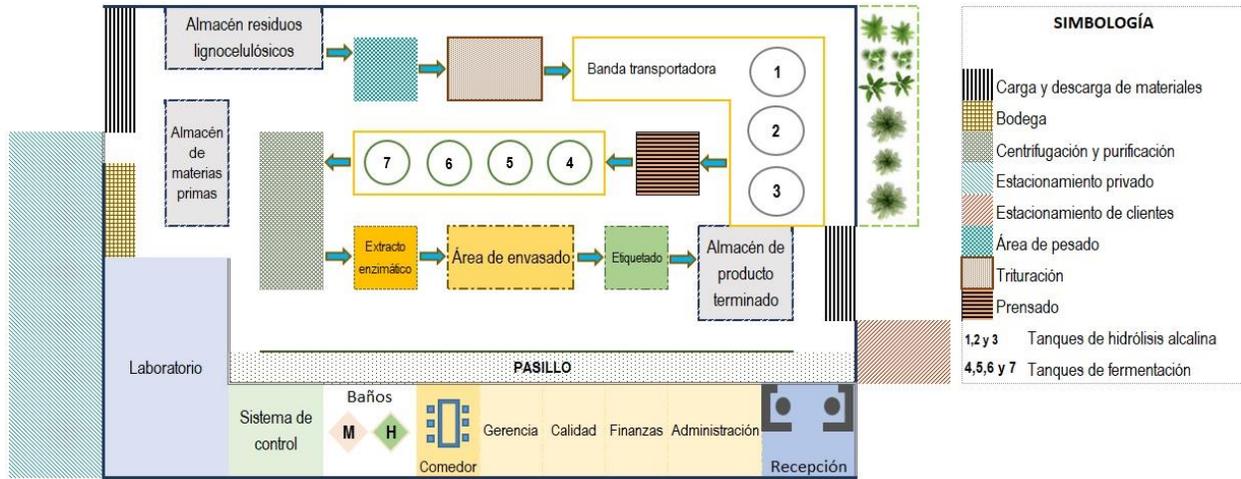


Figura 2: Distribución de la planta de producción de xilanasas

En el cual se describe el recorrido del proceso de producción de xilanasas (marcado con flechas), comenzando de la descarga del material, pasando por la inspección y resguardo de la materia prima, cabe mencionar que hay dos almacenes de materia prima uno para los residuos lignocelulósicos y el otro para los reactivos químicos utilizados en la producción, después la materia prima pasa al área de pesado, donde se seleccionan los 200 kg de BC para pasar a la etapa de trititación, donde se disminuye el tamaño de partícula del BC, y este residuo es movido por una banda transportadora a los tanques de hidrólisis alcalina, donde se lleva a cabo la deslignificación del BC, transcurrido el tiempo de hidrólisis alcalina el material es prensado, el BC deslignificado pasa a los tanques de fermentación, después a una etapa de separación mediante centrifugación y finalmente el extracto enzimático obtenido es concentrado mediante una ultrafiltración, para obtener como producto xilanasas con una alta actividad enzimática, el producto es envasado en garrafas con presentaciones de 1, 5 y 20 L para ser transportados al almacén de producto terminado.

4. Conclusiones

De acuerdo con esta investigación se concluye que:

El uso y aprovechamiento del bagazo de caña como residuo lignocelulósico es una alternativa potencial para la producción de xilanasas y así mismo la ubicación de la planta piloto en Veracruz reducirá el costo de producción hasta en un 35 %, ya que dicho estado se encuentra posicionado como el primer productor de caña de azúcar.

De acuerdo con el balance de materia en el diagrama de flujo del proceso se determinó que para escalar la producción de xilanasas a nivel industrial obteniendo 800 L/ día se requieren 200 kg de bagazo de caña, para llevar a cabo la producción estimada se necesita de una planta con una superficie de 1,000 m².

El proceso de producción de xilanasas (Figura 1) cuenta con condiciones de pretreamiento optimizadas que remueven más del 90% de la lignina presente en el bagazo, y un sistema de fermentación con condiciones de operación óptimas que reducen el tiempo de obtención de las xilanasas a 72 horas superando a otros procesos que tardan hasta 7 días para la producción de estas enzimas.

Este proceso está desarrollado bajo un esquema de desarrollo sostenible, ya que los residuos que salen del proceso pueden ser aprovechados para la obtención de otros subproductos de alto valor agregado, como lo son: el ácido ferúlico, pellets de lignina y para formulación de consorcios microbianos como biofertilizantes, por lo tanto, este proceso es viable desde el punto de vista ambiental.

Los trabajos futuros que faltan por realizar son: realizar la validación en la planta piloto para evaluar la factibilidad técnica y económica de la producción de xilanasas, con un tiempo de 3 a 6 meses para verificar la reproducibilidad de los resultados obtenidos previamente.

5. Referencias

- Acevedo, D., Granados, C., & Guerrero, E. 2014. Cinética enzimática del bagazo de caña para la producción de glucosa utilizando la enzima *Trichoderma longibrachiatum*. *Información Tecnológica*, 25(5), pp. 65-66.
- Adsul, M., Ghule, J., Shaikh, H., Singh, R., Bastawde, D., & Varma, A. 2005. Enzymatic hydrolysis of delignified bagasse polysaccharides. *Carbohydrate polymers*, 62(1), pp. 6-10.
- Akinyele, J., & Olaniyi, O., 2013. Investigation of the cellulases production by *Aspergillus niger* NSPR002 in different cultivation conditions. *Innovative Romain Food Biotechnology*, 13(9), pp. 71-79.
- Akpinar, O., Erdogan, K., & Bostanci, S. (2009). Enzymatic production of xylooligosaccharide from selected agricultural wastes. *Food and Bioproducts Processing*, 87(2): 145-151.
- Acharya, P. B., Acharya, D. K., & Modi, H. A. (2008). Optimization for cellulase production by *Aspergillus niger* using saw dust as substrate. *African Journal of Biotechnology*, 7(22).
- Arango Arango, M. A., & Arroyave, O. (2016). Análisis de combustibles fósiles en el mercado de generación de energía eléctrica en Colombia: un contraste entre modelos de volatilidad. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 190-215.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: Mc GrawHill
- Beg, Q. K., Bhushan, B., Kapoor, M., & Hoondal, G. S. (2000). Enhanced production of a thermostable xylanase from *Streptomyces* sp. QG-11-3 and its application in biobleaching of eucalyptus kraft pulp. *Enzyme and Microbial Technology*, 27(7), 459-466.
- Beg, Q., Kapoor, M., Mahajan, L., & Hoondal, G. S. (2001). Microbial xylanases and their industrial applications: a review. *Applied microbiology and biotechnology*, 56(3-4): 326-338.
- Camacho, N. A., & Aguilar, G. (2003). Production, purification, and characterization of a low-molecular-mass xylanase from *Aspergillus* sp. and its application in baking. *Applied biochemistry and biotechnology*, 104(3): 159-171.
- Costa M., Torres M., Magariños H., & Reyes A. 2010. Producción y purificación parcial de enzimas hidrolíticas de *Aspergillus ficuum* en fermentación sólida sobre residuos agroindustriales. *Revista colombiana de biotecnología*. 12 (2):163-175.
- Chávez, R., Bull, P., & Eyzaguirre, J. (2006). The xylanolytic enzyme system from the genus *Penicillium*. *Journal of biotechnology*, 123(4): 413-433.
- de Vries, R. P., & Visser, J. (2001). *Aspergillus* enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiology and molecular biology reviews*, 65(4): 497-522.
- Díaz, G. V., Coniglio, R. O., Velazquez, J. E., Zapata, P. D., Villalba, L., & Fonseca, M. I. (2019). Adding value to lignocellulosic wastes via their use for endoxylanase production by *Aspergillus* fungi. *Mycologia*, 111(2): 195-205.
- Machado, A., Lins, M., Gomes, S., & Pereira, N. 2009. Cellulases from *Penicillium funiculosum*: production, properties and application to cellulose hydrolysis. *Society for Industrial Microbiology*, 37, pp. 151-158.
- Mandels, M., & Weber, J., 1969. The production of cellulases. In: G. Hajny y E. Reese, eds. 1969. *Cellulases and Their Applications*. American Chemical Society. Capítulo 23.
- Miller, G, 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for the determination of reducing sugars. *Analytical Chemistry*, 31: 426-428.
- Novozymes, 2016. Novozymes. [en línea] Disponible en: <https://www.novozymes.com/> [Consultado 02 septiembre 2017].
- Phitsuwan, P., Morag, E., Tachaapaikoon, C., Pason, P., Kosugi, A., & Ratanakhanokchai, K. (2012). Behavior and supportive evidence of a large xylanase-containing multienzyme complex of *tepidimicrobium xylanilyticum* BT14. *BioResources*, 7(4):5934-5949.
- Sapag Chain, N., & Sapag Chain, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. McGraw-Hill, 5.
- Singhania, R., Sukumaran, R., Kumar, A., Larroche, C. & Pandey, A. 2010. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. *Applied Biochemistry Biotechnology*, 142: 60-70.
- Sohail, M., Siddiqi, R., Ahmad, A., & Ahmed, S., 2009. Cellulase production from *Aspergillus niger* MS82: effect of temperature and pH. *New Biotechnology*, 25(6): 437-441.

Subramaniyan, S., & Prema, P. (2002). Biotechnology of microbial xylanases: enzymology, molecular biology, and application. *Critical reviews in biotechnology*, 22(1): 33-64.

Sukumaran, R., Singhanian, R., & Pandey, A. 2009. Microbial cellulases – Production, applications and challenges. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 64: 832-844.

Sun, J.X., Sun, X.F., Zhao, H., & Sun, R.C. (2004). Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*. 84: 331-339.

Twomey, L. N., Pluske, J. R., Rowe, J. B., Choct, M., Brown, W., McConnell, M. F., & Pethick, D. W. (2003). The effects of increasing levels of soluble non-starch polysaccharides and inclusion of feed enzymes in dog diets on faecal quality and digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 108(1-4): 71-82.

6. Notas Biográficas

La **Ing. Mariela Rodríguez Graatz**, es licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Veracruz, actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Dr. David Reyes González** es Dr. en Ciencia e Ingeniería de Materiales, por la UNAM, es coordinador de estudios de posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga** es PI. del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería. Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción Bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca a la C. Mariela Rodríguez Graatz para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Detección de Fallas En Baleros en Generadores de Baja Potencia Mediante Señales Vibroacústicas.

David Granados Lieberman¹, José Roberto Razo Hernández², José Guadalupe Barrera Valdés³,
Fernando Jurado Pérez⁴

El Dr. David Granados Lieberman es profesor investigador del Posgrado en Ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Perteneciente al C.A. Fuentes Alternas y Calidad de la Energía Eléctrica. Mail: david.granados@itesi.edu.com

² El Dr. José Roberto Razo Hernández es profesor investigador del Posgrado en Ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Perteneciente al C.A. Fuentes Alternas y Calidad de la Energía Eléctrica. Mail: jorazo@itesi.edu.com

³ El M.C. José Guadalupe Barrera Valdés es profesor investigador del Posgrado en Ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Perteneciente al C.A. Fuentes Alternas y Calidad de la Energía Eléctrica. Mail: jobarrera@itesi.edu.mx

⁴ El M.I. Fernando Jurado Pérez es profesor investigador del Posgrado en Ingeniería eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Perteneciente al C.A. Fuentes Alternas y Calidad de la Energía Eléctrica. Mail: fejurado@itesi.edu.mx

Resumen— En el presente trabajo se realiza la detección de condiciones de rodamientos dañados en aerogeneradores de baja potencia mediante el análisis de señales vibroacústicas. Para ello, se hace uso de un túnel de viento para operar al aerogenerador a diferentes velocidades, junto con un algoritmo propuesto, una tarjeta de adquisición de datos y sensores de velocidad de rotación y vibroacústicos. En uno de los rodamientos se realizó una perforación en la pista exterior de 1.5 mm para la emulación de la falla. Mediante el uso de la transformada rápida de Fourier (FFT), se analiza la evolución de las componentes armónicas respecto a la velocidad de rotación del sistema, la cual permitió una caracterización de las vibraciones mecánicas en el aerogenerador para diagnosticar la presencia de fallas en rodamientos.

Palabra(s) clave— Aerogeneradores, Análisis de vibraciones, Calidad de la energía, Fuentes alternas, Túnel de viento

Abstract— In this work, the detection of damaged bearing conditions in low power wind turbines is performed by vibroacoustic analysis. To do this, a wind tunnel is used to operate the wind turbine at different speeds, together with a program carried out in MATLAB, a data acquisition card and rotational speed and vibroacoustic sensors. In said bearing a 1.5 mm outer race was drilled. Through the use of the fast Fourier transform (FFT), the evolution of the harmonic components regarding the speed of rotation of the system is analyzed, which allowed a characterization of the mechanical vibrations in the wind turbine to diagnose the presence of bearing failures.

Key words— Wind turbines, Vibration analysis, Fault diagnosis, Alternate sources, Wind tunnel

1. Introducción

Actualmente se ha dado un crecimiento en el interés de generar energía por medio de recursos naturales renovables, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, dado que la producción de energía eléctrica mediante la quema de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas tiene un gran impacto negativo al mismo. Entre las consideradas energías renovables se encuentran la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, entre otras. De todas ellas, la energía eólica ha tenido un gran impacto en el estudio y desarrollo de tecnologías a nivel mundial. La energía eólica es aquella que utiliza la fuerza del viento para la generación de electricidad, cuyo principal medio de obtención son los aerogeneradores, cuyo desarrollo más reciente ha crecido de la mano de modernos desarrollos en los campos de la electrónica, materiales, diseño mecánico y eléctrico, entre otros.

El desarrollo de los aerogeneradores ha tenido una gran evolución a lo largo de la historia. En este sentido la primera turbina eólica o aerogenerador fue diseñado a principios del siglo XX por el Danés Poul La Cour [1]. Debido a la falta de energía durante la segunda guerra mundial en 1941 la compañía FL Smidth mejoró el diseño de los aerogeneradores utilizando perfiles aerodinámicos modernos [2]. Posteriormente, en 1967 Hutter diseñó una turbina eólica más ligera a las de sus predecesores mediante el uso de dos láminas delgadas de fibra de vidrio, considerada durante mucho tiempo como una turbina de alta eficiencia [3]. Así mismo en los años 70's, y dado a la crisis de energía, volvió a surgir el interés por la potencia obtenida del viento, sin embargo, los esfuerzos se centraron en la generación de energía eléctrica. Actualmente, la obtención de energía eólica evoluciona constantemente, a finales de 1989, se consiguió operar un aerogenerador de 300 kW con un diámetro de rotor de 30 m. posteriormente, diversos fabricantes diseñaron turbinas de 2000 kW con diámetros de 80 m. Los primeros aerogeneradores de 3 MW poseían diámetros de 90 metros. A principios del siglo XX, se

instalaron los primeros aerogeneradores de 4-5 MW [4]. Los aerogeneradores modernos generan una parte importante de la energía eléctrica mundial, predominando su uso en Alemania, USA y España.

Debido a la importancia que es el contar con un aerogenerador en el mejor estado posible, se han diseñado diferentes metodologías para el diagnóstico y detección de fallas en aerogeneradores. De acuerdo con [5], entre las más utilizadas para esta tarea, se tiene el monitoreo de vibraciones, de torque, de temperatura y de corriente/potencia, siendo la última la más utilizada. Dentro de las fallas eléctricas más comunes reportadas en la literatura se encuentra la de cortocircuito en el rotor y en el estator [6] y la de variación de campo magnético [4-5]. Por otro lado, las fallas mecánicas representan un problema de consideración mayor, ya que, si bien no se presentan con la misma reiteración que las fallas eléctricas, estas, causan un impacto notable desde el aspecto de seguridad al existir el riesgo de desprenderse algunas de sus partes móviles poniendo en riesgo áreas cercanas, asimismo pérdidas generadas por falta de dicha energía en procesos que depende directamente de ésta. Las fallas mecánicas más comunes reportadas son las desgaste o rotura de los dientes de la caja de cambios [7-8], desbalance o asimetría de aspas, fracturas o fisuras de aspas y fallas en los rodamientos [5] desbalance o excentricidad de la flecha del generador [9].

El objetivo de este proyecto es crear un sistema de diagnóstico de fallas en rodamientos para aerogeneradores, para ello se desarrolla un sistema de monitoreo que permite la medición y registro de las variables involucradas en la operación de un aerogenerador de pequeña potencia, así como el control de un túnel de viento necesario para la realización de diversas pruebas. A partir de la información de un micrófono de contacto y un encoder se determinan las componentes armónicas de las vibraciones acústicas producidas en función de la velocidad del equipo.

2. Desarrollo

Método

La metodología propuesta se muestra en la figura 1 y se describe a continuación:

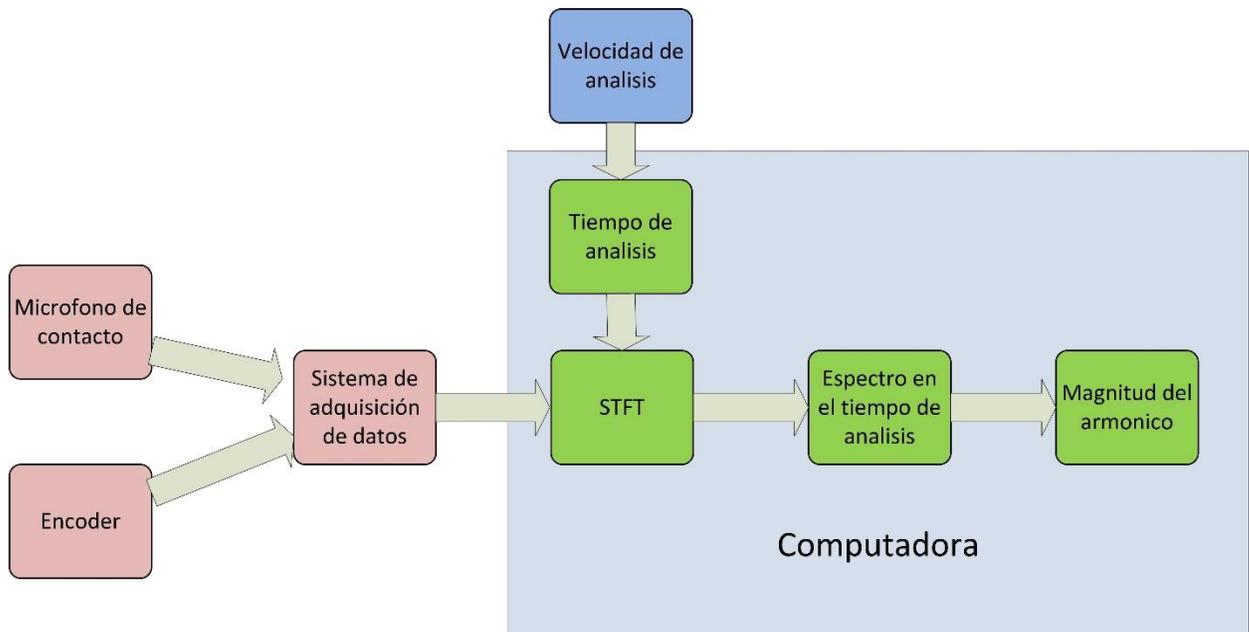


Figura 1. Diagrama de la metodología

Primeramente, la falla de balero dañado es emulada mediante la realización de una perforación en la cara externa, la cual tiene un diámetro de 1 mm. Para la realización de las pruebas se utiliza un túnel de viento a velocidad constante de 4 m/s en condiciones de aerogenerador en buen estado (sano) como cuando el balero tiene falla. En las pruebas realizadas se adquieren la información del micrófono y encoder mediante un sistema a de adquisición de datos, lo cual tiene una comunicación USB a la computadora o PC; posteriormente se aplica la transformada corta de Fourier (STFT, de sus siglas en ingles *Short Time Fourier Transform*). Así mismo, se

realiza un análisis de las pruebas a diferentes velocidades de operación, ubicando el tiempo en el cual el aerogenerador alcanzo la velocidad seleccionada y analizando el contenido armónico en dicho momento. Por último, se determina la magnitud de la componente armónica que indica la falla (F_{fpi}) en rodamientos mediante la siguiente ecuación:

$$F_{fpi} = \frac{Nb}{2} * n \frac{\{1+Db*\cos(\beta)\}}{Dc} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde Nb es el número de bolas o rodillos, Db es el diámetro de bola o rodillo, Dc es el diámetro entre pistas, β es el ángulo de contacto y n es la velocidad del aerogenerador

La puesta del experimento se muestra en la figura 2,

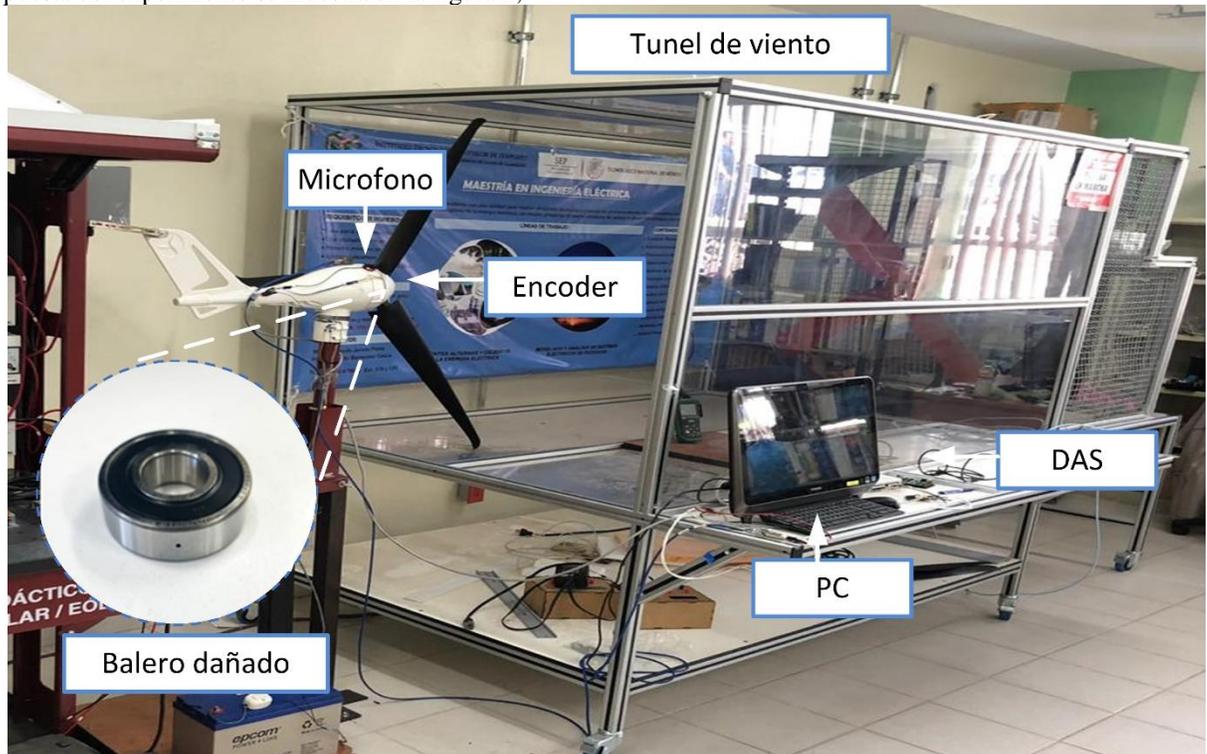


Figura 2. Puesta del experimento

Así mismo, los materiales utilizados para la conformación de la puesta del experimento se en lista a continuación:

- Aerogenerador Sunforce E400W: Generador eólico de 12Vcd, que puede suministrar 400 W. Es el objeto de estudio principal de este trabajo, el cual se estudiará en condición sana, y con fallas inducidas, para su análisis y comparación.
- DAS NI-USB 6211 National Instrument: Modulo de adquisición de datos (DAS) con velocidades de muestro hasta 250KS/s y comunicación USB.
- Convertidor de Frecuencia CFW-08 WEG y motor 3 HP, 220 V: Equipos para controlar el giro de la turbina del túnel de viento.
- Micrófono de Contacto CM01-B TE connectivity: El micrófono está basado en una película piezoeléctrica combinada con un preamplificador electrónico para proporcionar un sonido único o captación de vibraciones con salida amortiguada.
- Software MATLAB 2014: Entorno de programación y desarrollo de aplicaciones orientado al cálculo matemático, integrando funciones de análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica.
- Enconder magnético: Para la medición de velocidad del aerogenerador, los sensores son colocados junto con 40 imanes de neodimio, lo cual da como resultado una resolución de 20 pulsos por revolución.

3. Resultados

En la Figura 3a) se observa la señal analógica obtenida por el micrófono de contacto y posteriormente en la Figura 3b) se muestra la velocidad instantánea de rotación de las aspas.

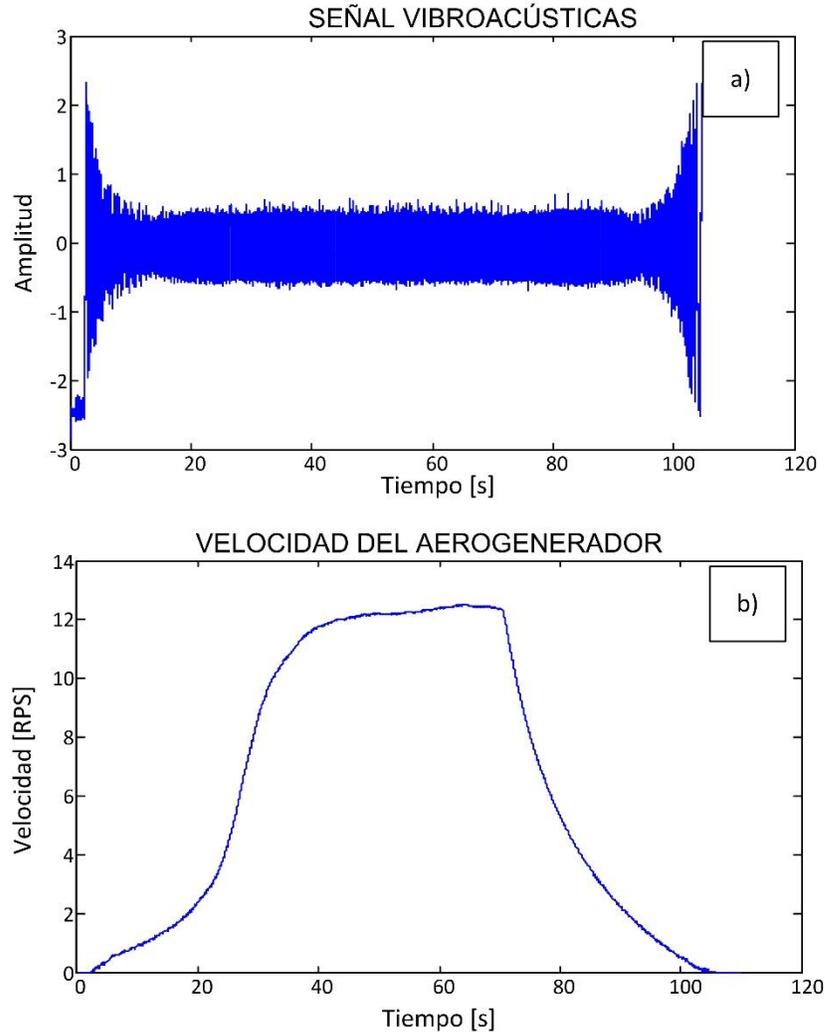


Figura 3. Señales medidas: a) vibroacústicas, b) Velocidad en RPS

A partir de la información de estas señales se realiza un espectrograma implementado en Matlab, el cual se realiza utilizando la transformada corta de Fourier y proporciona un gráfico en 3D (magnitud-tiempo-frecuencia) que permite analizar la señal como se observa en la Figura 4. En el espectrograma se muestra la presencia de curvas similares al comportamiento de la velocidad de rotación del aerogenerador o velocidad instantánea lo cual nos dice que nuestra medición de velocidad es correcta ya que, al aumentar la velocidad de rotación aumenta la frecuencia sonora que emite la falla. Así mismo, se evalúa la función de la ec (1) ante diferentes velocidades y se grafica en la línea punteada negra. Además se marca mediante un rectángulo la ventana de análisis a una velocidad específica de 3 rps.

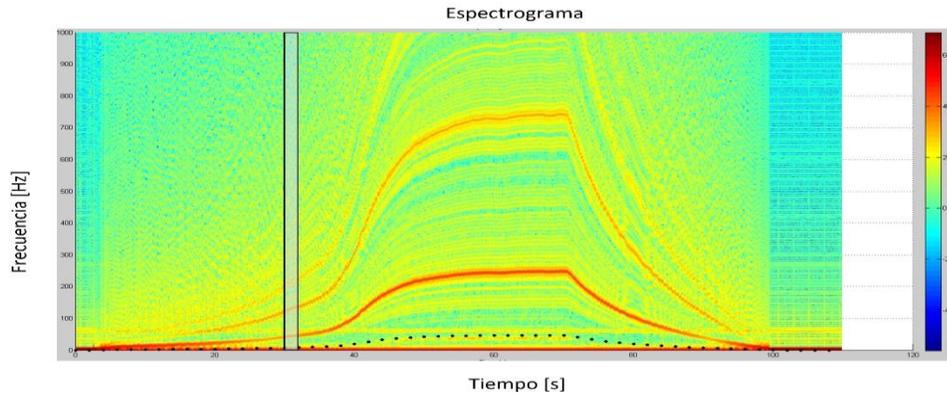


Figura 4. Espectrograma obtenido de la señal acústica.

En la Figura 5 se muestran los armónicos en dicha las ventanas de análisis, esto permite distinguir con claridad la presencia de las componentes armónicas y determinar la magnitud de la componente frecuencia característica de la falla, F_{fpi}.

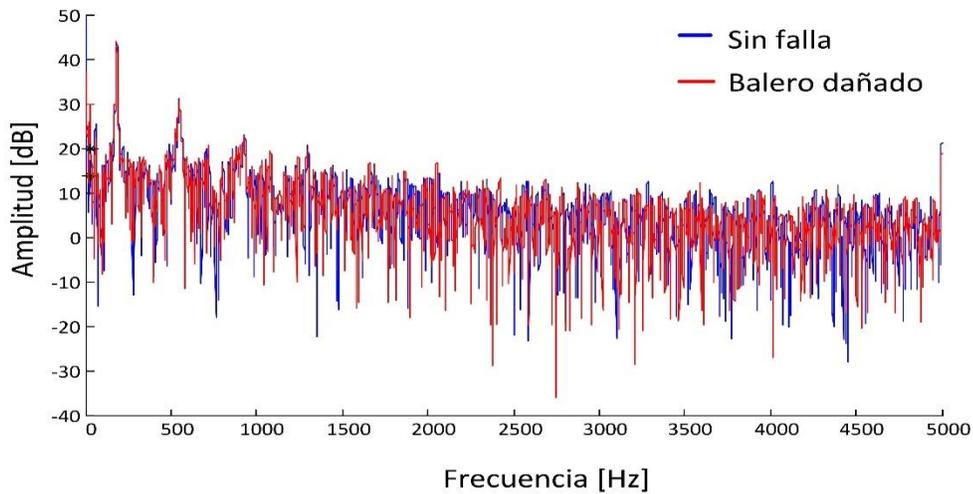


Figura 5. Transformada de Fourier a la velocidad de análisis.

Los resultados de las magnitudes armónicas a 3 diferentes velocidades (3, 6 y 9 rps) son mostrados en la Tabla 1, la cual indica la velocidad de rotación analizada, la frecuencia de la componente de falla, y las magnitudes de esta componente en condiciones del aerogenerador sin falla y con falla en el balero.

Velocidad [fps]	F _{fpi} [Hz]	Magnitud en Sano [dB]	Magnitud con Falla [dB]
3	11.3725	16.6	23.78
6	22.7451	17.57	20.21
9	34.1176	17.22	30
12	45.4902	24.48	32.02

Tabla 1. Resultados de las pruebas ante diferentes velocidades.

Finalmente, los valores de la tabla 1 son graficados en la figura 5,

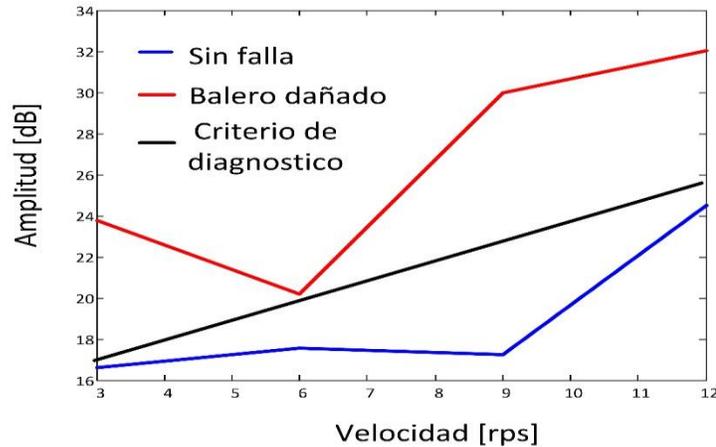


Figura 5. Magnitudes de la componente de falla a diferentes velocidades

En base a los resultados obtenidos se propone un umbral lineal dependiente de la velocidad como criterio de diagnóstico (línea negra), el cual indique que a partir de este umbral existe la presencia de una falla en rodamientos. Este criterio puede servir como protección y detener la operación del aerogenerador mediante frenado y así evitar una falla más severa.

4. Conclusiones

Los resultados del presente proyecto muestran la viabilidad de la metodología propuesta analizando las magnitudes de la componente de falla, la cual puede ser clasificada mediante una función lineal como criterio de diagnóstico y así implementar un sistema de alarmas o paros de emergencia que permita detener el equipo a tiempo antes de que ocurra una falla más severa. Se logró emular el funcionamiento de un aerogenerador con condiciones de operación normal y bajo condiciones de fallas en rodamientos, esto permitió analizar las componentes frecuenciales mediante la STFT, centrando el análisis en la frecuencia de falla en baleros a diferentes velocidades de operación del aerogenerador. Por otra parte, se tiene como prospectiva el mejoramiento de las señales adquiridas para poder detectar el nivel de severidad de la falla e implementación de algoritmos de clasificación inteligente como redes neuronales y lógica difusa.

5. Referencias

- Di Prátula, H. R., Guillermo, E., Rossi, A., Bocero, R. (2012). Turbinas Eólicas: Optimización en el Pre-Diagnóstico de Fallas en el Generador. Información Tecnológica Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires.
- Djurovic, S., Crabtree, C. J., Tavner, P. J., Smith, A. C. (2011). Condition monitoring of wind turbine induction generators with rotor electrical asymmetry. IET Journals.
- Gong, X. (2012). Online Nonintrusive Condition Monitoring And Fault Detection For Wind Turbines. Ph. D Thesis University of Nebraska-Lincoln.
- Hang, J., Zhang, J., Cheng, M. (2013). Fault diagnosis of wind turbine based on multi-sensors information fusion technology. IET Journals.
- Hameed, Z., Hong, Y.S., Cho, Y. M., Ahn, S. H., Song, C.K. (2009). Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review. Elsevier.
- Herbert, G. J., Iniyar, S., Sreevalsan, E., & Rajapandian, S. (2007). A review of wind energy technologies. Renewable and sustainable energy Reviews, 11(6), 1117-1145.
- Hajnayeb, A., Ghasemloonia, A., Khadem, S.E., Moradi, M. H. (2011). Application and comparison of an ANN-based feature selection method and the genetic algorithm in gearbox fault diagnosis. Elsevier.
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(3), 1513-1524.
- Saravanan, N., Ramachandran, K.I. (2009). Incipient gear box fault diagnosis using discrete wavelet transform (DWT) for feature extraction and classification using artificial neural network (ANN). Elsevier.

Proceso de producción de bioetanol de segunda generación (2G) en planta piloto, una oportunidad para mitigar la contaminación ambiental en México

Ing. Javier Gómez Aguilar¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Dr. Saul Santiago Cruz³, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga⁴.

El Ingeniero Javier Gómez Aguilar, es estudiante de la maestría Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. xavi_g04@hotmail.com

²El Doctor Gustavo Martínez Castellanos, es profesor investigador del área de posgrado de Ingeniería Industrial e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gMartínezc@itsm.edu.mx

³El Doctor Saul Santiago Cruz, es profesor investigador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail. ssantiagoc@itsm.edu.mx

⁴La Doctora María Guadalupe Aguilar Uscanga, es investigadora del Instituto Tecnológico de Veracruz-UNIDA, Veracruz. gaguilar@itver.edu.mx; maría.au@veracruz.tecnm.mx

Resumen— En la actualidad se enfrenta una problemática ambiental y energética por el uso desmedido de combustibles fósiles y su impacto negativo en el ambiente, ya que son fuentes no renovables, y su consumo genera contaminantes. El bioetanol es un combustible renovable que ha demostrado reducir las emisiones de CO₂ al ambiente hasta un 90 %, según sea su fuente de producción. La ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos en México aprobada en el 2015, apoyó propuestas de investigación enfocadas al impulso tecnológico del bioetanol como biocombustible, a través de convocatorias del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT. Es dentro de este marco que el grupo de investigación de Biocombustibles y Bioprocesos del Instituto Tecnológico de Veracruz desarrolló un proyecto enfocado a la generación de una tecnología para la producción de bioetanol de segunda generación (2G) a partir de residuos lignocelulósicos. La construcción de la primera planta piloto de bioetanol 2G, única en su tipo con tecnología mexicana, es un avance para trascender este proyecto, ya que representa una oportunidad relevante para el impulso tecnológico y educativo en México. En este trabajo se realizó un estudio preliminar sobre la descripción de la producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITVer, permitiendo establecer un proceso mediante el cual se obtiene un bioetanol a una pureza de 96.5 y 99.6%.

Palabras clave— Biocombustibles, Impacto ambiental, Planta Piloto, Residuos Lignocelulósicos, Bioetanol

Abstract— We currently face an environmental and energy problem due to the excessive use of fossil fuels which have generated a negative impact on the environment; they are non-renewable sources, and their consumption generates pollutants. An alternative to mitigate this problem is the implementation and use of biofuels. Bioethanol is a renewable fuel that has been shown to reduce CO₂ emissions in the environment to 90%, depending on its source of production. The Law on the Promotion and Development of Bioenergetics in Mexico, approved in 2015, supported research proposals through calls from the SAGARPA-CONACyT sector fund focused on the technological drive to produce bioethanol as a biofuel. Subsequently, the Biofuel and Bioprocess Research Group of the Veracruz Institute of Technology developed a project focused on the development of a technology for second generation (2G) bioethanol production from lignocellulosic waste. In that frame of reference, the first 2G bioethanol pilot plant was built, unique in its use of Mexican technology, representing a great historical opportunity for technological stimulus in this country. In this work a preliminary study of bioethanol 2G production in ITVer pilot plant was carried out, allowing to establish a process by which a bioethanol is obtained at a purity of 96.5 and 99.6%.

Key words: Biofuels, environment, pilot plant, lignocellulosic waste, bioethanol

1. Introducción

En la actualidad enfrentamos una problemática ambiental y energética, por el uso desmedido de combustibles fósiles, los cuales han generado un impacto negativo en el medio ambiente, ya que son fuentes no renovables, y su consumo genera contaminantes como: el metano y el CO₂. Una alternativa para mitigar este problema es la implementación y el uso de biocombustibles.

En la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en París, Francia se discutió sobre la situación actual que vive el planeta acerca del cambio climático (Robbins, 2016), el objetivo central de esta reunión fue el Acuerdo de París, el cual consiste en consolidar la amenaza global del cambio climático manteniendo un aumento de la temperatura global en este siglo XXI muy por debajo de 1.5 grados centígrados (UNFCCC, 2015a). El Acuerdo de París entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, y 55 países en la Convención que representan en total al menos un 55% del total de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero estuvieron presentes, entre ellos México, el cual se comprometió que para el 2030 reduciría a la mitad sus emisiones contaminantes, y que para entonces el 43% de la energía utilizada provendría de fuentes renovables (UNFCCC, 2015b). México emite 417 millones de toneladas de dióxido de carbono, de acuerdo con un reporte de la Agencia Internacional de Energía lo que representa el 1.4% de los gases derivados de la quema en la industria de los combustibles fósiles (SEMARNAT, 2014). Por lo que una alternativa para solucionar esta problemática es la implementación de biocombustibles en el sector transporte ya que este es uno de los mayores consumidores de petróleo en el mundo (SENER, 2013). Los biocombustibles son una fuente de combustible alterna, los países con mucha demanda de gasolina y petróleo enfrentan un problema por lo que han invertido en proyectos de investigación para fuentes alternas y renovables. El bioetanol se puede utilizar como aditivo para oxigenar la gasolina reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE) que es responsable de la contaminación del suelo y del agua subterránea, puede también utilizarse directo como combustible o mezclado con la gasolina a diferentes porciones (E6, E10, E20 y hasta E100) (Carrasco y Guevara., 2010). El proceso de primera generación es el proceso más sencillo y común para las industrias de producción de bioetanol. En México existen solo cinco industrias para el desarrollo de este producto. En la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer) a lo largo de 10 años un grupo de investigadores ha establecido las condiciones óptimas del proceso de bioetanol a partir de diversas materias primas, para su uso como energía de fuentes renovables. Una de las tecnologías más recientes y de alto impacto es la realizada a través del apoyo del fondo sectorial SAGARPA-CONACYT (proyecto # 291143), en donde se logró diseñar y construir la primer planta piloto de bioetanol de segunda generación (2G), única en su tipo hecha con tecnología mexicana, las investigaciones previas dieron lugar a que con el proceso de primera generación extrayendo el jugo del tallo de sorgo dulce o caña de azúcar, ahora también sean aprovechados los azúcares obtenidos del bagazo para producir en un solo proceso integral bioetanol de primera y segunda generación. Para México este tipo de proyectos son una oportunidad única e histórica ya que con ello se puede lograr consolidar el uso de este biocombustible en las gasolinas en un 5.8-10%, y se podrán reducir las emisiones de CO₂ al medio ambiente, debido a que el bioetanol 2G reduce hasta en un 90% dichas emisiones (Serrano-Ruiz y Luque, 2011). Bajo este esquema México podrá lograr cumplir con su compromiso con la agenda del Acuerdo de París (SEMARNAT, 2015). La naturaleza misma de esta propuesta está inmersa en su totalidad en este tipo de objetivos y escenarios de compromisos hacia el desarrollo sostenible. El bioetanol ha demostrado ser una alternativa como combustible frente a fuentes fósiles y es usado principalmente como: carburante, ya sea para mezclar o reemplazar el petróleo y sus derivados, específicamente las gasolinas (García Fonseca y García Ortíz, 2018). Sin embargo, en la medida en que el bioetanol provenga de materias primas que no sean cultivos básicos para la alimentación, o de monocultivos, y particularmente que su origen se encuentre en fuentes de residuos agrícolas lignocelulósicos, esto es, bioetanol de segunda generación, se estará en sintonía con compromisos de menor impacto ambiental (Tilman *et al.*, 2009). Los residuos lignocelulósicos están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales deben ser transformados a hidratos de carbono simples (C6 y C5) para ser convertidos a etanol por la acción de levaduras. Es así como este trabajo incluye un estudio preliminar técnico sobre la producción de bioetanol de segunda generación a nivel planta piloto a partir de caña de azúcar, utilizando los resultados obtenidos de 10 años de investigación del grupo multidisciplinario del ITVer, con el fin de dar una propuesta alterna al uso de los combustibles fósiles y conocer la importancia del uso de los biocombustibles en el área energética y ambiental.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de este trabajo se tomó en cuenta la estructura actual de la planta piloto de bioetanol 1G + 2G establecida en el Instituto Tecnológico de Veracruz, la cual cuenta con una superficie de construcción de 890 m² y 41 equipos distribuidos para procesos de producción de Bioetanol e investigación que se hacen en la planta. Para evaluar el proceso de producción se tomaron en cuenta estudios previos realizados por diversos estudiantes de maestría y doctorado.

Materia prima: Para llevar a cabo este estudio, primero se evaluaron diversos residuos lignocelulósicos, en base a su composición en celulosa, hemicelulosa y lignina, y se seleccionó el bagazo y el rastrojo de la caña de azúcar como materia prima, ya que este es un residuo lignocelulósico que se genera principalmente en el sector

industrial (durante el proceso de producción de azúcar de caña) y agrícola (durante la cosecha de la caña de azúcar). La selección fue hecha por su bajo contenido en lignina y su alto contenido en celulosa y hemicelulosa, así como también por la gran disponibilidad que se tiene en México, y principalmente en que el estado de Veracruz es el principal productor de caña y es donde se llevará a cabo este estudio ya que se tiene considerado establecer las plantas comerciales en donde se ubique la mayor cantidad de materia prima, para evitar el costo de transporte.

Microorganismos: Para llevar a cabo la fermentación o el proceso de conversión de los azúcares a bioetanol 2G, se usaron microorganismos autóctonos, los cuales fueron aislados y seleccionados en el laboratorio de Bioingeniería del ITVer. Estos microorganismos fueron levaduras: *Saccharomyces cerevisiae* ITV-01 aislada de la melaza de caña de azúcar (Ortiz-Zamora *et al.*, 2009) y *Pichia kudriavzevii* ITV-S42 aislada y seleccionada de sorgo dulce (Díaz-Nava, 2014).

Enzimas: Para llevar a cabo la hidrólisis enzimática, o conversión de la celulosa y hemicelulosa a azúcares fermentables, se utilizaron enzimas comerciales (Celli Ctec3 y Cellic Htec3, empresa Novozyme) y enzimas obtenidas de hongos autóctonos (*Aspergillus niger* ITV01 y ITV02), los cuales fueron aislados y seleccionados en el laboratorio de Bioingeniería aislado de bagazo de caña de azúcar (Reyes-Rodríguez, 2015).

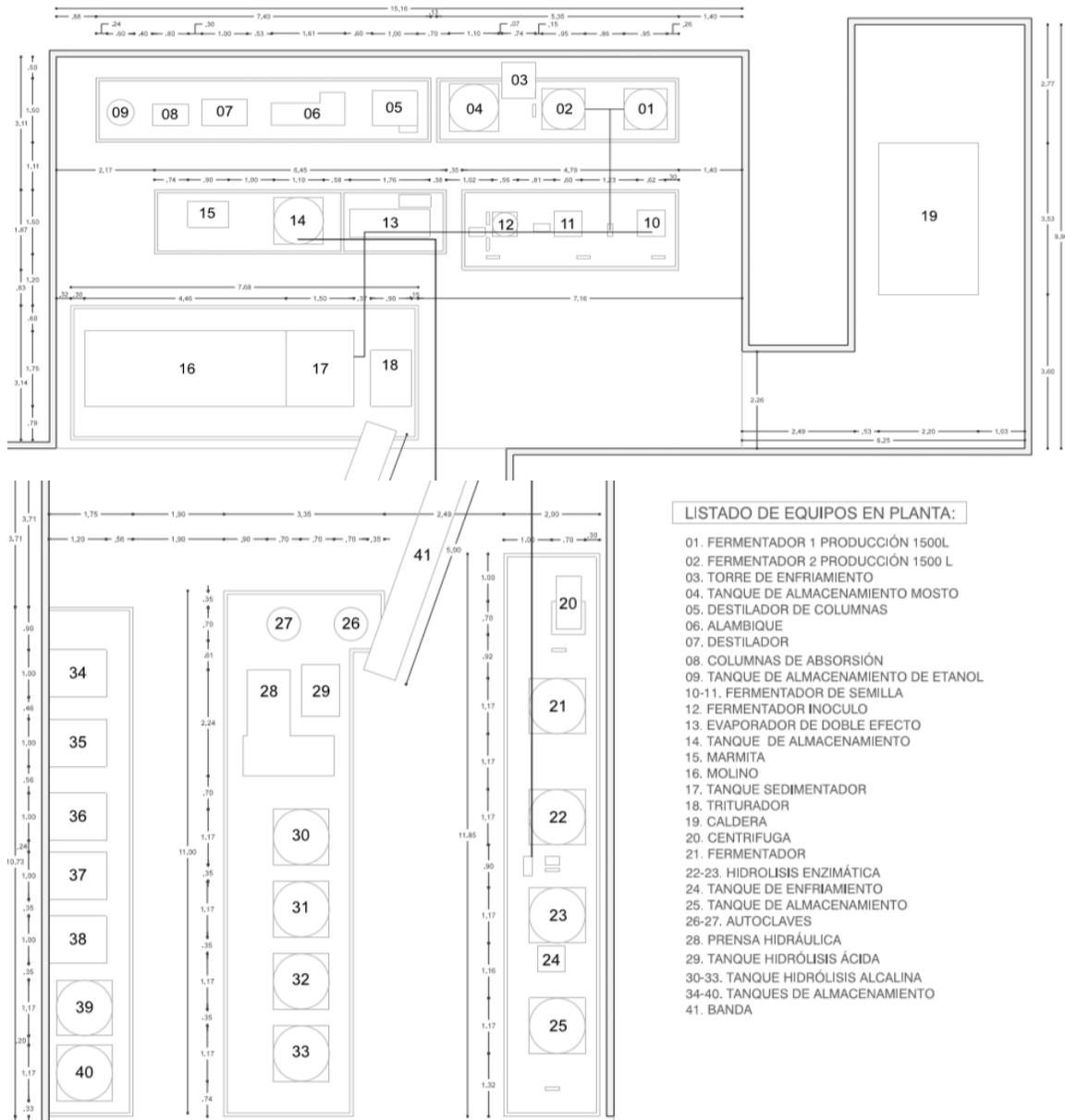
Proceso de producción de bioetanol 2G: El proceso de producción de bioetanol 2G a partir de bagazo o rastrojo de caña ha sido el resultado de 10 años de investigación y esfuerzos para lograr la mejora del proceso de producción de etanol, evaluando diferentes estrategias tales como: el uso de diferentes sustratos como fuente de carbono y energía (jugo de caña, mieles intermedias, melazas e hidrolizados de bagazo de caña, jugo y bagazo de sorgo dulce, rastrojo de maíz, y de desechos de papa entre otros), el uso de microorganismos autóctonos (obtenidos desde la etapa de aislamiento y selección de cepas productoras de etanol y enzimas celulolíticas nativas de diferentes fuentes) y la modificación de éstos con el fin de lograr mejoras significativas en el mismo (levaduras y hongos con mayores rendimientos y velocidades de producción). Así también, el uso de los diferentes modos de operación de los fermentadores (cultivos por lote, lote alimentado y continuo) y la optimización del medio de cultivo y condiciones ambientales (temperatura, pH y oxígeno entre otras) (Aguilar-Uscanga *et al.*, 2000; Ortiz Zamora *et al.*, 2009; Díaz-Nava, 2014; Castañón *et al.*, 2015; Yñiguez-Balderas, 2015; Partida Sedas, 2017).

Determinación de pureza: La concentración final y en cada etapa de producción se realizó mediante HPLC mediante las siguientes condiciones: cromatografía líquida de alta resolución (Waters 600, TSP Spectra System, Waters, Milford, MA, EE. UU.) Utilizando una columna Biorad Aminex HPX-87H (Bio-Rad Laboratories, Inc., Hercules, CA, EE. UU.). La temperatura fue de 40°C, ácido sulfúrico de fase móvil 5 mM, velocidad de flujo de 0,4 ml min⁻¹ y se utilizó un detector de refracción de índice (Waters 2414, TSP Refracto Monitor V, Waters).

Distribución de la Planta Piloto:

La distribución e instalación de los equipos y tanques con los que cuenta la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer) se muestran en la Figura 3.

La planta piloto de ITVer cuenta con 41 equipos los cuales están distribuidos de acuerdo a las etapas del proceso de producción de bioetanol, en esta planta trabajan tanto estudiantes como profesores de posgrado y licenciatura, en las diferentes áreas tales como; Maestría en Ingeniería industrial, Ing. electrónica, Ing. química, Maestría e Ingeniería en bioquímica, entre otras, así como residentes profesionales. En la Figura 3 podemos observar el número de cada equipo y la posición en la que se ubican. Este diagrama se divide en dos partes: 1) El proceso de producción de bioetanol de primera generación, obtenido a partir de azúcares fermentables y otros subproductos, la cual se encuentra en la parte superior que implica la numeración del 1 al 18, la cual consta de las etapas de molienda, evaporación, fermentación, destilación y deshidratación y; 2) el proceso de producción de bioetanol de segunda de generación que utiliza residuos lignocelulósicos, que es la sección 19 (donde se encuentra la caldera) hasta la sección 40 que implica las áreas de: banda transportadora que está conectada al molino o picadora del bagazo de caña, para continuar con los tanques de pre-tratamiento ácido o alcalino, hidrólisis enzimática y de ahí se conecta de nuevo con la primera sección que es la planta de bioetanol 1G, con los equipos de evaporación, fermentación y destilación deshidratación los cuales son equipos que se utilizan en ambos procesos.



LISTADO DE EQUIPOS EN PLANTA:

- 01. FERMENTADOR 1 PRODUCCIÓN 1500L
- 02. FERMENTADOR 2 PRODUCCIÓN 1500 L
- 03. TORRE DE ENFRIAMIENTO
- 04. TANQUE DE ALMACENAMIENTO MOSTO
- 05. DESTILADOR DE COLUMNAS
- 06. ALAMBIQUE
- 07. DESTILADOR
- 08. COLUMNAS DE ABSORSIÓN
- 09. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL
- 10-11. FERMENTADOR DE SEMILLA
- 12. FERMENTADOR INOCULO
- 13. EVAPORADOR DE DOBLE EFECTO
- 14. TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 15. MARMITA
- 16. MOLINO
- 17. TANQUE SEDIMENTADOR
- 18. TRITURADOR
- 19. CALDERA
- 20. CENTRIFUGA
- 21. FERMENTADOR
- 22-23. HIDROLISIS ENZIMÁTICA
- 24. TANQUE DE ENFRIAMIENTO
- 25. TANQUE DE ALMACENAMIENTO
- 26-27. AUTOCLAVES
- 28. PRESNA HIDRÁULICA
- 29. TANQUE HIDRÓLISIS ÁCIDA
- 30-33. TANQUE HIDRÓLISIS ALCALINA
- 34-40. TANQUES DE ALMACENAMIENTO
- 41. BANDA

Figura 3. Diagrama de la distribución de la planta piloto 1G y 2G, ubicada en el Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz. (Fuente: Elaboración propia)

3. Resultados

Determinación de la disponibilidad de la materia prima (caña de azúcar y bagazo de caña) en los cinco primeros estados en México:

Se realizó un estudio para conocer la disponibilidad de la materia prima, poder establecer la base para el cálculo del tamaño de plantas que se podrían instalar en México y en los cinco estados mas productores de caña. Los resultados obtenidos muestran que según una publicación del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), México tiene una producción de caña de azúcar que supera los 55 millones de toneladas en el 2018, para el año 2019, la producción de caña de azúcar aumentó a 6.25 millones de toneladas. Según la CONADESUCA como principales productores tenemos los estados de: Veracruz y Jalisco que aportan un 50.6% de la producción nacional (Tabla 1):

Tabla 1. Principales estados productores de caña de azúcar en México y la varianza de crecimiento en los últimos años

Numero	Estado	Volumen (Toneladas)		bagazo disponible (Toneladas)	Variación (%) 2012-2018
		2012	2018	2018	
1	Veracruz	18,111,886	20,912,561	6,273,768.3	15.46
2	Jalisco	6,254,590	7,215,209	2,164,562.7	15.36
3	San Luis Potosí	2,529,479	4,160,775	1,248,232.5	64.49
4	Oaxaca	3,482,394	3,696,183	1,108,854.9	6.14
5	Tamaulipas	3,571,398	3,100,000	930,000	-13.20
	Restos	16,996,736	16,752,559	5,025,767.7	-1.44
	Total	50,946,483	55,837,287	16,751,186.1	9.60

Fuente: SIAP, 2018; CONADESUCA 2012-2018, elaboración propia

En la Tabla 1 podemos observar que la producción de caña de azúcar en México ha ido aumentando a lo largo de 6 años y que para el 2019 se podría llegar a producir 62.5 millones de toneladas de caña de azúcar por lo que se espera un aumento del 11.93 por ciento de la varianza. Por otro lado en este estudio podemos observar que solo en el 2018 se generaron 16,751,186 millones de toneladas de bagazo, lo que indica que existe suficiente materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación a partir del residuo de la caña de azúcar (bagazo de caña de azúcar), ya que si consideramos un promedio de producción de 200 litros de etanol por tonelada de bagazo, se podrían producir hasta 1600 millones de litros de etanol, lo que hace a este cultivo una opción de interés para producir biocombustible a partir de esta fuente renovable, y que el estado de Veracruz sería un potente actor en el desarrollo de esta tecnología. Se ha encontrado en estudios previos que una tonelada de caña de azúcar genera entre 280 a 350 Kg de bagazo (Sun *et al.*, 2004), estos resultados están de acuerdo a los obtenidos por nuestro grupo de trabajo (300-350 kg de bagazo/ton de caña de azúcar). Por lo que el uso de los carbohidratos de este material podría incrementar significativamente la productividad de etanol en la industrial alcoholera si se aprovechara integralmente (jugo y bagazo), así como la sostenibilidad del proceso, el bagazo se desecha como residuo agrícola o es quemado para el suministro de energía en las calderas de las fábricas de azúcar y etanol (Moran Aguilar, 2018). El bagazo de caña de azúcar es un material lignocelulósico abundante y de bajo costo que se obtiene como residuo del proceso de extracción del jugo de la caña de azúcar (Ferrara *et al.*, 2002; Takahashi *et al.*, 2000). Este corresponde generalmente al 25% del peso total y contiene entre 60-80% de carbohidratos (Moran Aguilar, 2018).

Etapas del proceso de producción de Bioetanol 2G en la Planta piloto:

A manera general, el proceso de producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITV se puede visualizar en la Figura 1, este proceso es el resultado de varios años de investigación en donde se puede clasificar en tres etapas principales: 1) proceso de producción de azúcares fermentables a partir de residuos agroindustriales a partir de diversos pre-tratamiento y tratamiento enzimático 2) la transformación de estos azúcares a etanol a partir de la acción de las levaduras en el proceso llamado fermentación, 3) la purificación del etanol a 96.5 o 99.6% (v/v).

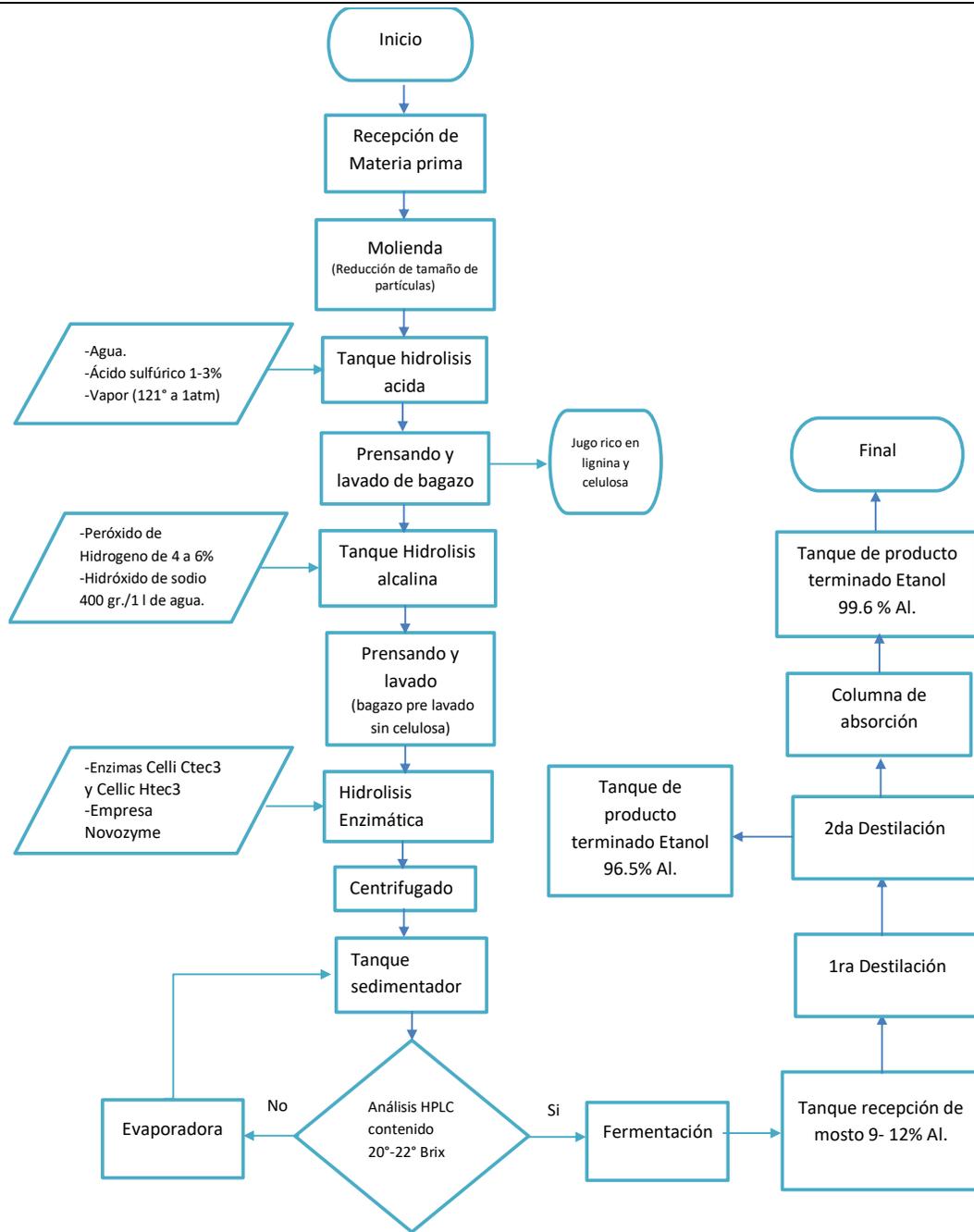


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de segunda generación (2G) para la producción de bioetanol en planta piloto. (Fuente: Elaboración propia)

Todas estas etapas del proceso se han ido mejorando a través del uso de diseños de experimentos de acuerdo a cada una de las variables que intervienen en el proceso de obtención de bioetanol. A continuación, se describirán cada una de las etapas del proceso iniciando desde la recepción de la materia prima y su primer tratamiento (físico) que consiste en la reducción del tamaño de partícula hasta el producto final (etanol al 96.5 o 99.6% v/v):

Molienda: La molienda es una etapa que tiene como finalidad la reducción de partículas del bagazo de caña mediante el uso de un molino de rodillos y cuchillas.

Pre-tratamientos: Las dos etapas críticas que impactan en el costo final de bioetanol son los pre-tratamientos y la hidrólisis enzimática. Por lo cual se han evaluado dos escenarios de proceso utilizando diferentes etapas de

pre-tratamientos, para obtener un rendimiento mayor al 85% de conversión del material pre-tratado a glucosa y xilosa. En la Figura 2 se muestran los dos procesos para la obtención de azúcares fermentables que se han probado para producir bioetanol 2G. El proceso No. 1 inicia con un pre-tratamiento ácido, el cual degrada el polímero de hemicelulosa a monómeros (xilosa y glucosa), seguido de un pre-tratamiento alcalino y finalmente una hidrólisis enzimática utilizando la enzima celulasa (CellicCtec3).

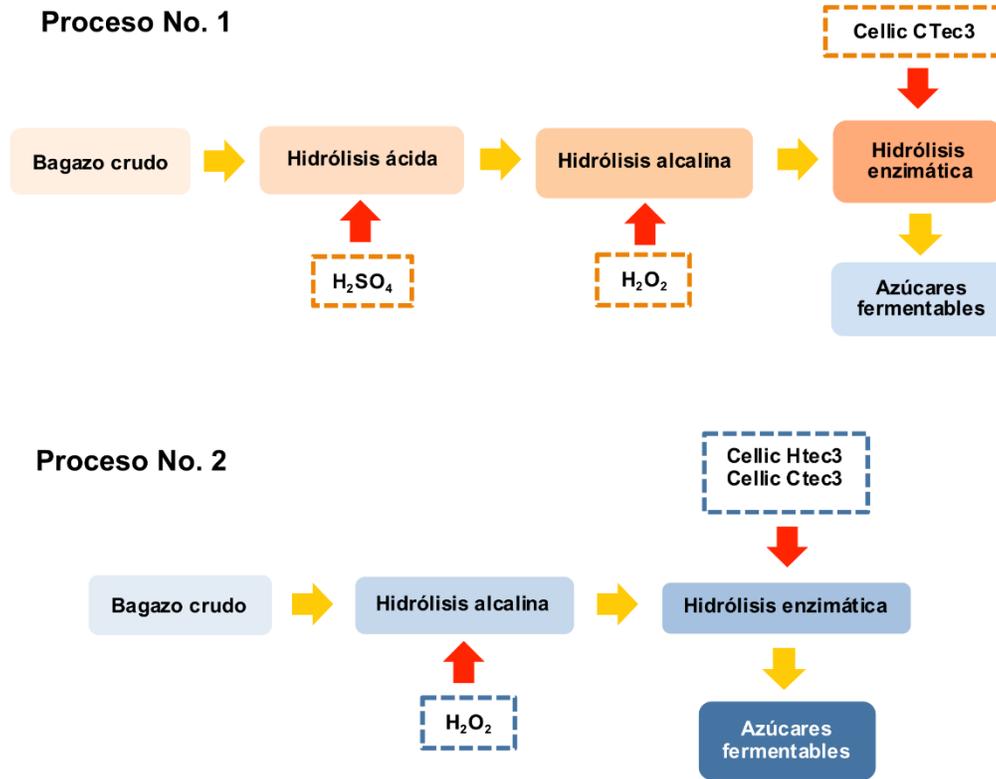


Figura 2. Proceso con pre-tratamiento acido-alcalino y alcalino directo (Fuente: Moran Aguilar, 2018)

El proceso No. 2, implica una eliminación del pre-tratamiento ácido, pasando directamente al alcalino seguido de una hidrólisis enzimática con las enzimas CellicCtec3 (celulasa) y CellicHtec3 (xilanas).

Pre-tratamiento ácido o hidrólisis ácida: esta etapa consiste en transformar la hemicelulosa a azúcares para poder realizar una fermentación. A los residuos lignocelulósicos se le aplica una solución de ácido sulfúrico entre 1-5 %, se añade vapor de la caldera a 175°C y 9 bares de presión con una relación sólido líquido de 1:4 a 1:12 kg/L, esta etapa tarda aproximadamente 40-50 minutos (Moran Aguilar, 2018). En el proceso de pre-tratamiento se toman muestras para analizar el contenido de glucosa y xilosa, así como se evalúa el contenido de hemicelulosa al final del pre-tratamiento para valorar la eficiencia de remoción de este polisacárido.

Prensado: posterior a la hidrólisis ácida se realiza un prensado para recuperar un licor rico en xilosa y separar el bagazo hidrolizado ácido. A partir del prensado se obtiene un material con un mayor contenido de celulosa y lignina el cual pasa al siguiente pre-tratamiento alcalino.

Pre-tratamiento alcalino o hidrólisis alcalina: La hidrólisis alcalina tiene como finalidad la remoción de la lignina presente en el material lignocelulósico, ya que esta constituye una barrera para que puedan ser aprovechados los polisacáridos de interés como celulosa y hemicelulosa, este proceso ocurre debido a que los grupos hidroxilo generan un hinchamiento en el material lignocelulósico. Este pre-tratamiento consiste en la adición de un compuesto alcalino, y se pueden dividir en dos grupos: los que utilizan hidróxido de sodio (NaOH), potasio (KOH), y calcio (Ca (OH)₂) y los que utilizan hidróxido de amonio (NH₄OH) (Moran Aguilar, 2018).

Prensado: Posteriormente se realiza de nuevo un prensado, en la que se obtiene una segunda masa sólida con una cantidad pequeña de lignina y una corriente líquida con un gran contenido de lignina soluble. La materia lignocelulósica pasa al siguiente tratamiento que es la hidrólisis enzimática.

Hidrólisis enzimática: la hidrólisis enzimática tiene como finalidad convertir la celulosa en glucosa. Esta reacción es catalizada por las enzimas denominadas celulasas, cuyo propósito es la transformación de la celulosa a azúcares simples como la glucosa. Las celulasas son parte de un complejo enzimático compuesto por diferentes tipos de celulasas como las endocelulasas, exocelulasas y las β -glucocisadas. Las endoglucanasas atacan aleatoriamente el enlace interno O-glicosídico, produciendo cadenas de glucosa de diferentes tamaños. Las exoglucanasas actúan en los extremos de la cadena de celulosa y genera como producto final la β -celobiosa. La β -glucosidasa actúa específicamente en el disacárido β -celobiosa generando el monosacárido de glucosa (Bayer *et al.*, 1994; Singh, 1999). En esta etapa se han usado diversas enzimas comerciales y enzimas autóctonas obtenidas de microorganismos aislados y seleccionados por el grupo de investigación del ITVer, en esta etapa de hidrólisis enzimática ya se tiene optimizado la concentración de enzima, la relación sólido-líquido y el tiempo de reacción o liberación de los azúcares o conversión de la celulosa.

Centrifugación: Una vez obtenido en la hidrólisis enzimática el mosto con los azúcares fermentables, se procede al proceso de centrifugación para separar compuestos el licor de glucosa y xilosa para pasar a la etapa de fermentación.

Fermentación: En este proceso el licor rico en azúcares fermentables es llevado a los diferentes tanques de fermentación (80L, 450L y 1500L), en donde se llevan a cabo tres etapas, la primera es una activación o adaptación de la levadura el medio conteniendo el hidrolizado enzimático y medio de cultivo sintético (esto se hace en el fermentador de 80 litros), posteriormente todo este mosto pasa a un fermentador de 450 litros en donde se airea para producir la levadura y finalmente se pasa a los tanques de producción (1500L) en donde se lleva a cabo el proceso bajo condiciones anaerobias no estrictas, durante 24 horas y con agitación moderada de 100 rpm.

Destilación: En este proceso el mosto fermentado que contiene entre un 9-12% de alcohol es pasado a través de dos columnas de destilación, en donde en la primera se obtiene un producto con 86% de pureza de etanol, el cual es pasado a la segunda columna rectificadora para obtener un alcohol con una pureza del 96.5%. Este proceso se lleva a cabo utilizando vapor directo suministrado a través de una caldera de vapor.

Deshidratación: Consiste en concentrar el etanol obtenido en la destilación (96.5%) a través de unas columnas de adsorción cargadas con zeolitas naturales, en donde estas tienen la finalidad de atrapar el agua contenido en el etanol para así producir un etanol al 99.6% de pureza, el cual puede ser utilizado como biocombustible directo o como aditivo en las gasolinas.

4. Conclusiones

El presente estudio tuvo como finalidad dar a conocer la importancia que tiene el implementar y desarrollar nuevas tecnologías en el país para sustituir aquellas que no son renovables. Así también determinó la disponibilidad de caña de azúcar que existe en nuestro país y se obtuvo la cantidad de bagazo generado en el 2018 a partir de la producción nacional de caña, en donde se encontró que se pueden generar hasta casi 1600 millones de litros de etanol, lo que contribuiría a satisfacer más del 5% de la demanda nacional en México. Se determinó que una de las materias primas más importantes en México es la caña de azúcar, y que el estado de Veracruz se ubica como el primer productor a nivel nacional, siendo entonces un estado con una gran oportunidad para detonar la industria alcoholera nacional. Se muestra el diseño de la distribución de la planta piloto 2G integrada a los equipos del proceso de obtención de bioetanol de primera generación, en donde se pueden implementar estudios a nivel planta piloto de ambas tecnologías (escala del TRL 5-7). Esta planta es una planta piloto experimental la cual es la base para el paso de la transferencia de la tecnología a nivel comercial, con los estudios que se generen en esta planta estaremos en la posibilidad de competir con otros países en esta tecnología y así poder cumplir con los compromisos ambientales que México tiene en la agenda del acuerdo de París. En el desarrollo de este artículo se puede establecer que el proceso de segunda generación es una opción viable, ya que puede aprovecharse el 100 % de la materia prima alcanzando rendimientos finales del 0.46% (g/g) lo que puede generar etanol de calidad para usarse como combustible para motores de combustión interna o aditivos para las gasolinas. Por otra parte, en el país existe la producción suficiente de

bagazo de caña que tiene un gran potencial de producción de miles de millones de litros de etanol, ya que teóricamente por una tonelada de bagazo de caña se pueden producir desde 200 hasta 300 litros de bioetanol a una pureza de 96.5 y 99.6%. Estudios complementarios son necesarios para evaluar la factibilidad técnica y económica del proceso, así como su escalamiento al diseño de plantas comerciales de distintas capacidades en el estado de Veracruz.

5. Referencias

- Aguilar-Uscanga, M.G., Delia, M.L. y Strehaiano, P. (2000). Nutritional requirements of *Brettanomyces bruxellensis*: Growth and physiology in batch and chemostat cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 234: 334-361
- Bayer, E.A., Morag, F., y Lamed, R. (1994). The cellulosome a treasure-trove for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 12 (9): 379-386
- Berruezo, J. A., & Jiménez, J. D. (2017). Situación del Convenio Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Resumen de las Cumbres de París, COP21 y de Marrakech, COP22. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 34-39.
- Carrasco, M., & Guevara, E. (2001). Efectos ambientales del uso del Metil Terc Butil Eter (MTBE) como oxigenante en la formulación de gasolinas. *Revista INGENIERÍA UC*, 8(1), 1-11.
- Castañón-Rodríguez, J. F., Portilla-Arias, J. A., Aguilar-Uscanga, B. R., AguilarUscanga, M. G. (2015). Effects of oxygen and nutrients on xylitol and ethanol production in sugar bagasse hydrolyzates. *Food Science Biotechnology*. 24 (4): 1381-1389
- Díaz-Nava, L.E. 2014. Aislamiento y selección de levaduras para la producción de etanol durante la fermentación espontánea de jugo de sorgo dulce. Tesis de maestría. ITVer, Veracruz, México
- García Fonseca C. y García Ortiz B.G. 2018. Estudio de mercado del etanol. pp.1-140
- Gobierno de la Republica México. 2013. Reforma Energética. Consultado el 5 de octubre del 2019. Disponible en:
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen de la explicacion de la Reforma Energetica11_1 .pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11_1.pdf)
- Moran Aguilar M.G. 2018. Estudio de la sacarificación del bagazo de caña de azúcar y *Agave angustifolia* para la producción de azúcares fermentables. Tesis de maestría en ciencias en ingeniería bioquímica. ITO, Veracruz, México.
- Ortiz-Zamora, O., Cortes-García, R., Ramirez-Lepe, M., Gomez-Rodriguez, J. y Aguilar-Uscanga, M.G. 2009. Isolation and Selection of Ethanol-Resistant and Osmotolerant Yeasts from Regional Agricultural Sources in México. *J Food Process Eng*. 32(5):775-786.
- Partida-Sedas G. (2017). Production of ethanol from the juice and bagasse of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genetically improved. Doctor of Food Sciences. Technological Institute of Veracruz, Veracruz, Ver.
- Reyes Rodríguez E. 2015. Aislamiento y selección de hongos o bacterias productores de celulasas y hemicelulosas a partir de residuos lignocelulósicos para la obtención de azúcar reductores. Tesis de maestría en ciencias ingeniería química. ITO, Veracruz, México.
- Robbins, A. (2016). How to understand the results of the climate change summit: Conference of Parties21 (COP21) Paris 2015.
- Sánchez-Riaño, A.M., Gutiérrez-Morales, A.I., Muñoz-Hernández, J.A., RiveraBarrero, C.A. (2010). Production of bioethanol from lignocellulosic agroindustrial products. [Online] <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/58> . Consult on August 16, 2016
- Salvador, A. R. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat.(Esp)*, 104, 331-345.
- SEMARNAT. 2015. Emisión nacional de gases de efecto invernadero. Consultado el 4 de octubre del 2019. Disponible en https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_2.html
- SENER. 2013. Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2013-2027. Consultado el 4 de octubre del 2019. Disponible en
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62951/Prospectiva de Petr_leo y Petrol_feros_2013-2027.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62951/Prospectiva_de_Petr_leo_y_Petrol_feros_2013-2027.pdf)
- Serrano-Ruiz, J. C., & Luque, R. (2011). Biocombustibles líquidos: procesos y tecnologías. In *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (No. 4, pp. 383-389). Real Sociedad Española de Química.

SIAP-SADER. 2019. Expectativas agroalimentarias. Consultado el 5 octubre del 2019. Disponible en <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>

SIAP-GOB. 2018. La producción de caña de azúcar supera los 55 millones de toneladas en 2018. Consultado el 7 de octubre del 2019. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-produccion-de-cana-de-azucar-supera-las-55-millones-de-toneladas-en-2018?idiom=es>

Singh, A. (1999). Engineering enzyme properties. *Indian Journal of Microbiology*. 39 (2): 65-77.

Sun, J.X., Sun, X.F., Zhao, H., Sun, R.C. (2004). Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*. 84: 331-339

Takahashi, C.M., Lima, K.G.C., Takahashi, D.F. y Alterthum, F. (2000). Fermentation of sugar cane bagasse hemicellulosic hydrolusate and sugar mixtures to etanol by recombinant *Escherichia coli* KO11. *Wold Journal of Microbiology and Biotechnology*. 16, 829-834.

Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L. & Williams, R. (2009). Beneficial biofuels—the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325(5938), 270-271.

UNFCCC (United Nation Climate Change). 2015a. Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Consultado el 3 octubre 2019. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>

UNFCCC (United Nation Climate Change). 2015b. Intended Nationally Determined Contribution México. Consultado el 3 de octubre del 2019. Disponible en <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Mexico/1/MEXICO%20INDC%2003.30.2015.pdf>

Yñiguez-Balderas, B. S., Ortiz-Muñiz, B., Gómez-Rodríguez, J., Gutiérrez-Rivera, B., & Aguilar-Uscanga, M. G. (2016). Ethanol production by *Pichia stipitis* immobilized on sugarcane bagasse. *Bioethanol*, 2(1).

6. Notas Biográficas

El **Ing. Javier Gómez Aguilar**, Este autor es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **Dr. Gustavo Martínez Castellanos** y el **Dr. Saul Santiago Cruz** son profesores investigadores del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga** es PI. del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería. Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción Bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

La Planta Piloto de Bioetanol de Segunda Generación (2G) del Instituto Tecnológico de Veracruz fue inaugurada en noviembre del 2018. Su construcción fue financiada por el fondo de Bioenergéticos de la SAGARPA-CONACYT 2017 proyecto N° 291143, dicha planta tiene una capacidad de procesar hasta 1 tonelada de residuo lignocelulósico por día, lo que representa en promedio una producción diaria de bioetanol entre 150 y 250 L por día.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca al Ing. Javier Gómez Aguilar para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Evaluación de tratamientos superficiales activos en la reducción de la pérdida de la calidad sensorial postcosecha de plátano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish)

Ing. Nohemi Gallo Zamorano¹, Dr. Gustavo Martínez Castellanos², Damaris García Visiconti³

¹Nohemi Gallo Zamorano, Ingeniera, estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail 182T0846@itsm.edu.mx

² Dr. Gustavo Martínez Castellanos, profesor del departamento de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail. gMartínezc@itsm.edu.mx

³ Damaris García Visiconti, Ingeniería, estudiante de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla Veracruz, Mail. 162T0388@itsm.edu.mx

Resumen— Se realizó un recubrimiento activo para prolongar la vida útil de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish) con respecto a su calidad sensorial y apariencia. Para este objetivo se formuló una mezcla aplicada a cajas de cartón corrugado con características similares a las de exportación, creando una capa delgada directamente sobre la superficie para obtener un tratamiento superficial activo. Los frutos seleccionados fueron almacenados en condiciones medio ambientales ($27 \pm 3^\circ\text{C}$ y 85% R.H.) durante 7 días de acondicionamiento. Se evaluó la calidad sensorial de los frutos con respecto al índice de maduración (color) y el índice de daño. Los resultados mostraron que durante los 7 días que se aplicaron los diferentes tratamientos a los plátanos recolectados, la coloración de la piel del fruto retardo la desaparición del color verde, alcanzando tonos amarillos con puntos verdes, alcanzando valores de 5 en la Escala de Von Loesecke, lo que se traduce en un alargamiento de la vida útil de los frutos. Por otra parte, se disminuyó la pudrición postcosecha y la incidencia de enfermedades, consiguiendo una mejor presencia postcosecha, ya que los frutos evaluados no presentaban síntomas de enfermedades postcosecha. Este trabajo es parte de un proyecto de investigación y los resultados mostrados son preliminares, por lo que no pueden ser mostrados todas las formulaciones evaluadas o sus concentraciones.

Palabra(s) clave— Tratamientos superficiales activos, calidad sensorial, plátano roatán.

Abstract— An active coating was made to prolong the useful life of banana fruits (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish) with respect to their sensory quality and appearance. For this purpose a mixture was formulated applied to corrugated cardboard boxes with characteristics similar to those of export, creating a thin layer directly on the surface to obtain an active surface treatment. The selected fruits were stored in environmental conditions ($27 \pm 3^\circ\text{C}$ and 85% R.H.) during 7 days of conditioning. The sensory quality of the fruits was evaluated with respect to the ripeness index (color) and the damage index. The results showed that during the 7 days that the different treatments were applied to the collected bananas, the coloration of the fruit skin delayed the disappearance of the green color, reaching yellow tones with green dots, reaching values of 5 in the Von Loesecke Scale, which translates into an extension of the useful life of the fruits. On the other hand, post-harvest rotting and the incidence of diseases were reduced, achieving a better post-harvest presence, since the fruits evaluated did not present symptoms of post-harvest diseases. This work is part of a research project and the results shown are preliminary, so it is not possible to show all the formulations evaluated or their concentrations.

Key words— Active surface treatments, sensory quality, banana.

2. Introducción

Actualmente los datos más aproximados que existen indican que, a escala mundial, alrededor de una tercera parte de los alimentos producidos se pierde o desperdicia a lo largo de la cadena alimentaria, desde la fase de producción hasta su destino final. Siendo estas pérdidas de considerable importancia económica y social para todos los que intervienen en la cadena productiva, debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, siendo consecuencia de factores de orden tecnológico como inadecuado proceso de recolección, malas prácticas agrícolas, empaques no apropiados y condiciones inadecuadas de almacenamiento lo que provoca periodos muy cortos de almacenamiento (Martínez-González, 2017). En la actualidad, la demanda creciente por parte de los consumidores de obtener alimentos fáciles de consumir, seguros y naturales, ha motivado a investigadores a desarrollar nuevas tecnologías de procesado y conservación. El consumidor desea productos frescos procesados de alto valor nutritivo, de buena presentación y libre de tóxicos. El plátano roatán es una de las frutas tropicales

más cultivadas y es una de las cuatro más importantes en términos globales (García-Mata *et al.*, 2017). Constituye uno de los alimentos ricos en nutrientes, especialmente potasio, vitamina B6 y ácido fólico, es considerado un producto básico y de exportación, fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo. El crecimiento del mercado especializado es una tendencia que exige un buen manejo postcosecha con el fin de no deteriorar la presentación de los frutos, mantener la calidad, disminuir las pérdidas y por supuesto el plátano no es la excepción. La inocuidad de los alimentos es sólo una parte de un conjunto más amplio de cuestiones que no se limitan a cómo evitar la presencia de patógenos biológicos, sustancias químicas tóxicas y otros peligros transmitidos por alimentos, si no a prevenirlos y controlarlos (Ozdemir y Floros, 2004). En los últimos años se ha incrementado el interés por conseguir que las frutas se conserven durante un tiempo más largo sus características nutricionales y microbiológicas, que es lo que determina su calidad y vida útil, estas características se suelen ver afectadas durante el proceso postcosecha, de almacenamiento y comercialización; y aunque hay procesos físicos y químicos que permiten estabilizar y preservar la calidad de los alimentos, normalmente se hace necesario el uso de envases adecuado para la distribución y el almacenamiento. Los recubrimientos son utilizados en la industria de los alimentos y generalmente pueden ser consumidos como parte del mismo, debido a que muchos de ellos provienen de materiales naturales, no tóxicos y que ayudan a alargar la vida útil de los frutos (Fernández-Valdés *et al.*, 2015). Cuentan con las siguientes características y ventajas: son libres de tóxicos y seguros para la salud; requieren una tecnología simple para su elaboración; suelen ser transparentes y no son detectados durante su consumo; mejoran las propiedades mecánicas y preservan la textura; prolongan la vida útil de alimentos a través del control sobre el desarrollo de microorganismos; pueden regular distintas condiciones de interfase o superficiales del alimento; pueden agregárseles aditivos como antioxidantes, agentes antimicrobianos y nutrientes; y presentan propiedades de barrera como transferencia de distintas sustancias (Ramos-García *et al.*, 2018). Un envase inteligente se define como un sistema que monitoriza las condiciones del producto envasado, siendo capaz de registrar y aportar información sobre la calidad del producto o el estado del envase, poniendo en evidencia las posibles prácticas “anormales” que haya sufrido el alimento o el envase durante toda la cadena de suministro, como lo es el transporte o el almacenamiento (Rodríguez-Sauceda *et al.*, 2014). En este mismo sentido el desarrollo de cubiertas activas como empaques inteligentes es una de las nuevas formas para mantener durante todo el almacenamiento y transporte de alimentos, la seguridad y el control de las condiciones de preservación de los mismos.

La aplicación de cubiertas activas puede agregar valor agregado al producto mediante de tecnologías que conserven su calidad, su valor nutritivo y aseguren su inocuidad. Las tendencias actuales en la tecnología de alimentos se centran en el desarrollo de empaques con componentes activos que cumplan estas funciones, ya que es imperante en la industria de los alimentos asegurar la inocuidad y estabilidad a lo largo de la cadena alimentaria.

Por tanto, es importante analizar una formulación como tratamiento superficial activo sobre cajas de cartón corrugado con características similares a las de exportación en la reducción de la pérdida de la calidad sensorial postcosecha de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish), para que la formulación propuesta pueda ser evaluada como una alternativa para conservar la calidad de estos frutos durante el almacenamiento y transporte.

2.- Desarrollo

Elaboración del tratamiento superficial activo

El trabajo realizado tuvo como objetivo evaluar tratamientos aplicados a cajas de plátano roatán y determinar el deterioro postcosecha del fruto en un periodo de 7 días. La formulación del recubrimiento activo estuvo basada en materiales inocuos con propiedades fisicoquímicas particulares, tales como biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad, propiedades antimicrobianas y antifúngicas, que pudieran ofrecer un amplio potencial protector para el desarrollo de este tratamiento y que son aspectos de vital interés para la preservación de alimentos y tecnologías en alimentos (Hernández Ochoa *et al.*, 2011). Las formulaciones elaboradas se utilizaron para cubrir la superficie interna de empaques de cartón corrugado, utilizados para el almacenamiento del plátano roatán con la finalidad de mejorar la estabilidad del alimento y prolongar su vida útil. La formulación del tratamiento superficial activo se realizó mediante la combinación de 2 factores divididos en 9 tratamientos, ajustado a un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) con un arreglo factorial de dos factores a tres niveles cada uno. Los factores fueron nombrados como A y B, los tratamientos resultantes fueron evaluados mediante la aplicación de los 9 tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 y T9) y fueron combinados con sustancias que mejoraron las condiciones de los recubrimientos pero que no estaban destinadas para alterar las características fisiológicas de los frutos, por lo que se les consideró inertes para el producto evaluado. En el desarrollo de este trabajo no se documentan las sustancias que se utilizaron debido a que los resultados obtenidos son la primera parte de un proyecto de investigación.

Aplicación del recubrimiento a los empaques corrugados

Una vez elaborado los tratamientos superficiales activos se procedió a llevar a cabo su aplicación a los empaques utilizados. Las cajas de cartón corrugado tenían medidas proporcionales y características similares a las cajas de exportación, sus medidas fueron las siguientes: 15 cm de alto, 30 cm de largo y 19 cm de ancho. Para la aplicación se utilizaron 60 mL de solución por unidad experimental y una brocha de cerdas finas de 3 in de ancho. La aplicación se realizó de manera uniforme y homogénea en cada una de las caras internas y las bases de cartón corrugado por el lado interno, asegurándose que no quedaran espacios sin recubrir. Una vez aplicados los tratamientos las cajas de cartón corrugado se dejaron secar en condiciones medioambientales durante 24 h.

Obtención del material vegetal

Para la recolección de los frutos de plátano (*Musa paradisiaca*, Var. Cavendish) se eligió una huerta ubicada en: Municipio de San Rafael, Veracruz, llamada Banana Premium Karla, la cual suministra producto para empresas de Veracruz. Los frutos se recogieron directamente en la huerta mediante un corte transversal del tallo del racimo a 10 cm de la base del primer racimo. Evitando que los dedos se mancharan con el látex que se desprende del corte. Se colocaron sobre una superficie acolchada por hojas para que los dedos no se maltrataran y se pusieron hojas sobre el racimo para evitar quemaduras solares. Una vez colectados los racimos seleccionados, fueron llevados al Laboratorio de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, para su evaluación en las cajas tratadas y fueron almacenados a temperatura ambiente de $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de 85% hasta su utilización.

2.3 Evaluación del índice de maduración e índice de daño

Una vez aplicados los tratamientos y seleccionados cada uno de los frutos para cada unidad experimental se evaluó el índice de maduración visualmente, utilizando la escala de Von Loesecke para medir maduración en frutas de plátano y que está dividida en una escala de maduración en 7 niveles de acuerdo a lo reportado por Soto (2008) como se muestra en la Figura 1. Con esta escala se determinaron los siguientes parámetros numéricos: 0 = verde oscuro; 1 = verde; 2 = verde claro; 3 = verde amarillento; 4 = más amarillo que verde; 5 = amarillo con puntos verdes; 6 = totalmente amarillo y; 7 = amarillo con puntos café. De la misma manera, el índice de daño fue clasificado en una escala hedónica de acuerdo al porcentaje de deterioro de la superficie de los frutos de plátano roatán de acuerdo a lo reportado por Martínez-Castellanos (2009) ajustándose a una escala en porcentaje de índice de daño, que posteriormente se transformó a una escala numérica (0% = ausencia; 1-10% = 1; 11-20% = 2; 21-30% = 3; 31-40% = 4; 41-50% = 5 y; $\geq 51\%$ = 6.

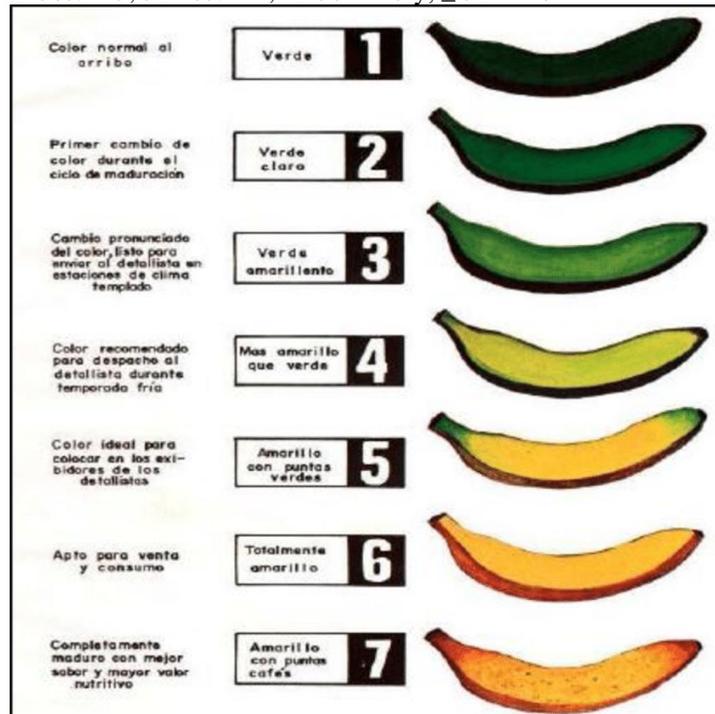


Figura 1. Escala de Von Loesecke para medir maduración en frutas de plátano (Soto 2008).

Para ambas mediciones y escalas hedónicas se evaluaron 3 unidades experimentales de 9 frutos cada una, las evaluaciones se realizaron en la totalidad de las muestras del diseño experimental previamente mencionado y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\sum_{i=1}^{i=n} = (1 xn_1) + (2 xn_2) + (3 xn_3) + (4 xn_4) + (5 xn_5) + (6 xn_6))/n$$

En donde n se refiere al número total de frutos estudiados:

- n_1 = Número de frutos en el grado 1
- n_2 = Número de frutos en el grado 2
- n_3 = Número de frutos en el grado 3
- n_4 = Número de frutos en el grado 4
- n_5 = Número de frutos en el grado 5
- n_6 = Número de frutos en el grado 6

3.- Resultados

Los resultados de manera general, mostraron una disminución en el deterioro poscosecha de los frutos evaluados y fueron atribuidos al efecto de los tratamientos evaluados durante los 7 días de almacenamiento, en donde se aplicó un recubrimiento de fácil aplicación a las cajas de cartón corrugado. Las cajas utilizadas, siendo 66 % más pequeñas que las de exportación, se adaptaron para los 9 tratamientos y funcionaron adecuadamente durante el almacenamiento ($27 \pm 3^\circ\text{C}$, 85% R.H.) manteniendo la integridad física de los frutos evaluados. Como se muestra en la figura 2, todos los tratamientos tuvieron una maduración constante con valores de 1 a 5 durante los 7 días de almacenamiento. El tratamiento T1 inició con un índice de color verde olivo característico de frutos recién cortados evolucionando hasta el día 7 con un cambio de coloración hasta el nivel 5 en la escala de Von Loesecke, obteniendo un color amarillo con puntos verdes, sin daños en el fruto, sin aparición de hongos ni plagas, perfecto para su venta y consumo.

Los tratamientos T2, T3, T5, T8 y T9 se comportaron de la misma manera que el tratamiento anterior. Comparado con el resto de los tratamientos se puede notar que en los tratamientos T4, T6 y T7 redujeron la evolución del índice de maduración, ya que al día 5 aún se encontraban con valores por debajo de 3, por lo que su coloración era verde claro, adecuado para un producto que es altamente perecedero bajo condiciones medioambientales. Así mismo, puede decirse que estos mismos tratamientos tenían valores de 5 o menores al 7° día de almacenamiento, lo que se interpreta como un retraso en su maduración y podría decirse que estos tratamientos pudieran aumentar la capacidad de transportar este producto a mayores distancias. El resto de los tratamientos no tuvieron resultados inadecuados, ya que todos los tratamientos mostraron índices adecuados de maduración para el lapso de almacenamiento, ya que para el plátano Roatán sin tratamientos, el tiempo de maduración ronda alrededor de 4 a 8 días en condiciones de almacenamiento a temperatura y humedad relativa ambiente, por lo que los tratamientos superficiales activos, disminuyeron la maduración de las muestras evaluadas.

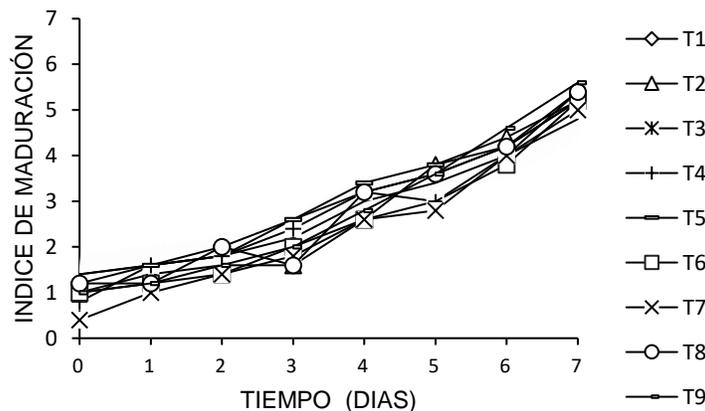


Figura 2.- Evaluación del índice de maduración (color) de los frutos de plátano roatán almacenados a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 85% R.H. durante 7 días

Otro parámetro que se utilizó en esta investigación para evaluar daños superficiales de los frutos, fue el índice de daño durante el almacenamiento. Esto se realizó mediante una inspección visual estimando el porcentaje de daños y manchas en una escala hedónica de seis grados, clasificándose de acuerdo al daño existente en toda la superficie del fruto (Figura 3). Los resultados de estas evaluaciones mostraron un incremento constante y generalizado en el daño registrado para todos los tratamientos en la aparición de defectos sobre la superficie de los frutos, que contaron con un índice de daño similar de entre 1 y 3, a los 7 días de almacenamiento.

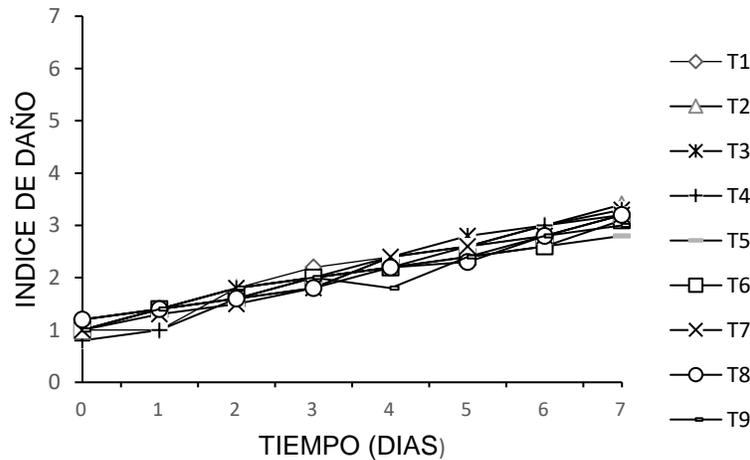


Figura 3.- Evaluación del índice de daño (defectos) de los frutos de plátano roatán almacenados a $27 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 85 % R.H. durante 7 días.

Es importante mencionar que a pesar de que los frutos mostraron un avance en el daño, la aparición de defectos es multifactorial y muchos de ellos son productos de malas prácticas agrícolas en huerta, por lo que en el almacenamiento se terminan revelando por la pérdida de clorofila. Por otra parte, al menos dos tratamientos (T5 y T6) mostraron valores menores de 3, por lo que esa combinación debe ser analizada a mayor profundidad. La maduración del fruto es un importante proceso que activa a todo un conjunto de rutas bioquímicas que hacen que éste sea atractivo y deseable para los consumidores. Existen múltiples factores que pueden dañar la calidad de los frutos desde la etapa precosecha, la cosecha y el transporte; esos daños muchas veces no se aprecian hasta que los pigmentos de los frutos inmaduros se degradan y cambian la coloración verde a colores más claros, revelando los daños que existen y que demeritan la calidad de los productos (Romojaro, 2007). Según Martínez-González (2017), la degradación postcosecha y los cambios fisiológicos que se presentan en el proceso de maduración de los frutos, están influenciados por el estado de madurez en la cosecha, por las condiciones climáticas predominantes en el cultivo, por las condiciones de manejo y almacenamiento postcosecha; por lo que los frutos colectados podrían haber tenido algún daño precosecha, ya que todos los frutos estaban en un estado 1 del índice de daño al inicio del experimento.

En el presente trabajo se llevaron a cabo evaluaciones a 9 diferentes tratamientos aplicados a cajas de cartón corrugado para plátano roatán durante 7 días, donde se evaluó el efecto del tratamiento superficial activo en la reducción de la pérdida de la calidad sensorial postcosecha de este fruto.

Los tratamientos aplicados a cada una de las cajas de cartón corrugado dieron como resultado una disminución del índice de daño, índice de maduración, conservación del color y mejoría en la conservación postcosecha de manera visual. Los tratamientos de manera independiente ofrecieron una mejoría en la conservación del plátano, en particular los T4, T6 y T7 mostraron los mejores resultados debido a la combinación de los elementos activos utilizados.

Según Mosquera *et al.*, (2016), para prolongar la vida postcosecha de los productos hortofrutícolas se han implementado diferentes tecnologías, entre ellas el almacenamiento a bajas temperaturas, la utilización de empaques plásticos para crear atmósferas modificadas, la aplicación de tratamientos hidrotérmicos, irradiación y formulaciones que contienen agentes biológicos, entre otras. Por lo que el trabajo propuesto en esta investigación podría tener resultados alentadores para las huertas locales de plátano, ya que el efecto buscado fue evaluar una tecnología que ejerciera un efecto retardante en la degradación postcosecha, la maduración y la

presencia de enfermedades (patógenos) fuera del almacenamiento en la cadena fría y la combinación con la temperatura podría mejorar los resultados obtenidos. Se ha reportado que durante el manejo postcosecha de los productos vegetales se pueden estimar pérdidas hasta del 40% del total cosechado (Martínez-González, 2017), estas varían entre productos, áreas de producción y época del año, en particular en México y en las huertas veracruzanas, este es un problema grave debido a la baja tecnología aplicada a los cultivos, por lo que esta tecnología podría ser bien aceptada por los productores de éste y otros productos.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se realizaron evaluaciones de tratamientos superficiales aplicados a cajas de cartón corrugado de plátano roatán, con el fin de disminuir la degradación postcosecha de plátano roatán. Durante el desarrollo de esta investigación se obtuvo como principal resultado la evaluación positiva de la aplicación de diferentes tratamientos superficiales activos, para determinar la reducción de la pérdida de la calidad sensorial postcosecha de este producto. Las evaluaciones fueron realizadas en el laboratorio del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, pero se planea que sean realizadas también bajo condiciones comerciales de exportación. Las nuevas tecnologías emergentes basadas en recubrimientos y cubiertas activas aplicados a productos hortofrutícolas procesados, mínimamente procesados y comercializados en fresco, buscan extender la vida útil de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo a las necesidades y gustos del consumidor. Es importante mencionar que los recubrimientos o empaques activos deben ser evaluados con respecto a su estabilidad y seguridad para mejorar y optimizar su composición.

5. Referencias Bibliográficas

1. Fernández Valdés, D., Bautista Baños, S., Fernández Valdés, D., Ocampo Ramírez, A., García Pereira, A. y Falcón Rodríguez, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación postcosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 24(3): 52-57.
2. García-Mata, Roberto, González-Machorro, M. Félix, García-Sánchez, R. Carlos, Mora-Flores, J. Saturnino, González-Estrada, Adrián, & Martínez-Damian, M. Ángel. (2013). El mercado del plátano (*Musa paradisiaca*) en México, 1971-2017. *Agrociencia*. 47(4): 399-410.
3. Hernández-Ochoa, L., Gonzales-Gonzales, A., Gutiérrez-Méndez, N., Muñoz-Castellanos, L.N., & Quintero-Ramos, A. (2011). Estudio de la actividad antibacteriana de películas elaboradas con quitosano a diferentes pesos moleculares incorporando aceites esenciales y extractos de especias como agentes antimicrobianos. *Revista mexicana de ingeniería química*. 10(3): 455-463.
4. Martínez-Castellanos G. (2009). "Uso de bacterias lácticas en recubrimientos de quitosano para la conservación postcosecha de litchi y rambután". Tesis. Universidad Autónoma Metropolitana. pp: 39.
5. Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., López-Gúzman, G. G. (2017) Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 19: 4075- 4087.
6. Mosquera N. P., De la Vega J C. y Cañarejo M. (2016). Utilización del método de conservación bajo atmósferas controladas en frutas y hortalizas. *Agroindustrial Science*. 6(2): 231 – 238.
7. Ozdemir M. y Floros J. D. (2004). Active food packaging technologies. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 44(3): 185–193.
8. Ramos-García, M. de L., Romero-Bastida, C. y Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 19(1): 31 - 44.
9. Rodríguez-Sauceda, Raquel; Rojo-Martínez, Gustavo E.; Martínez-Ruiz, Rosa; Piña-Ruiz, Hugo H.; Ramírez-Valverde, Benito; Vaquera-Huerta, Humberto; Cong-Hermida, Milagros de la C. (2014). Envases inteligentes para la conservación de alimentos. *Ra Ximhai*. 10(6): 151-173.
10. Romojaró F., Flores F. B., Egea M. I., SánchezBel P., Martínez-Madrid M. C., Ribas F. y Cabello M. J. (2007). Factores precosecha que afectan a la calidad de frutas y hortalizas, *Symposium Internacional PHYTOMA-España*. 189(17): 43 - 50.

11. Soto, M. (2008). Bananos: Técnicas de Producción, Manejo Postcosecha y Comercialización. Tercera Edición. San José, Costa Rica. Litografía e Imprenta LIL. 1 disco compacto, 8mm.

6. Notas Biográficas

La **Ing. Nohemi Gallo Zamorano** es estudiante del tercer semestre de Maestría en Ingeniería Industrial. Terminó sus estudios de Licenciatura en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Veracruz.

El **Dr. Gustavo Martínez Castellanos** es Dr. en Biotecnología por la UAM, Iztapalapa, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **estudiante Damaris García Visiconti** es estudiante del séptimo semestre de la Licenciatura de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado en la beca a la **Ing. Nohemi Gallo Zamorano** con número de becario CVU-940112 para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Identificación del raquis de maíz como material absorbente de hidrocarburos.

Redonda Deceano Cesar Luis, Ing.¹, C. Azucena del Carmen López Ruíz², C. Nahún Hernández Sánchez³, C. Raúl García Hernández⁴

Cesar Luis Redonda Deceano, Ingeniero, es estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. cesarluisrd@gmail.com

² La C. Azucena del Carmen López Ruíz, es del Departamento de Ingeniería Petrolera en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0775@itsm.edu.mx

³ El C. Nahún Hernández Sánchez, es del Departamento de Ingeniería Petrolera en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0771@itsm.edu.mx

⁴El C. Raúl García Sánchez, es del Departamento de Ingeniería Petrolera en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 162t0764@itsm.edu.mx

Resumen— Este trabajo presenta una descripción de materiales orgánicos con capacidad de absorción de hidrocarburos, sintéticos y naturales, en diferentes medios y actividades. Muestra una breve descripción de la característica absorbente de raquis de maíz, en presencia de hidrocarburos, identificando su composición química genérica como una de las propiedades principales de absorción de hidrocarburo, a través de una metodología experimental en la que se muele raquis de maíz a diferentes tamaños de partícula y es añadido a volúmenes de aceite vertidos en agua, para después retirar el material con residuo absorbido y medir el remanente preservado en la solución agua-aceite. Se presenta los resultados de una evaluación experimental de capacidad de absorción de hidrocarburo, por parte del raquis de maíz como material celuloso absorbente.

Palabra(s) clave— Raquis de maíz, material celuloso, hidrocarburo, absorción.

Abstract — This work shows a description of organic material capacity for synthetic and natural hydrocarbons absorption, in different fields. Also shows a brief description of the corn rachis absorbent feature, in presence of hydrocarbon, identifying his generical chemical composition to be a mean property to absorb hydrocarbon. Throughout an experimental methodology the corn rachis is ground at different sizes, then it's added in a oil-water volume ratio sample, after, when oil is absorbed corn rachis is retired and the residual oil in water is measured. Also shows results from an experimental evaluation of the hydrocarbon absorption capacity in corn rachis used as cellulose absorbent material

Key words – corn rachis, cellulose material, hydrocarbon, absorption.

1. Introducción

Los hidrocarburos son una familia de compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. Los hidrocarburos se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclica.

Un derrame de petróleo o marea negra es un vertido de este hidrocarburo que se produce, debido a un accidente o práctica inadecuada que contamina el medio ambiente, especialmente el mar. Estos derrames afectan todo el ecosistema donde se produce el evento afectando gravemente la fauna y la pesca, así como a las costas con efectos que pueden llegar a ser muy persistentes en el tiempo. El uso del petróleo como el principal recurso energético del planeta ha generado impactos positivos en las economías de muchos países; sin embargo, contrariamente, esto también ha desembocado en problemas de contaminación con efectos nocivos en los recursos y servicios ambientales a nivel mundial.

Diferentes accidentes de petróleo en el mundo han abierto los ojos a los investigadores sobre las causas inmediatas y a largo plazo de los contaminantes presentes en el petróleo.

Los hidrocarburos son una familia de compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se

derivan todos los demás compuestos orgánicos. Los hidrocarburos se clasifican en dos grupos principales, de cadena abierta y cíclica.

Un derrame de petróleo o marea negra es un vertido de este hidrocarburo que se produce, debido a un accidente o práctica inadecuada que contamina el medio ambiente, especialmente el mar. Estos derrames afectan todo el ecosistema donde se produce el evento afectando gravemente la fauna y la pesca, así como a las costas con efectos que pueden llegar a ser muy persistentes en el tiempo. El uso del petróleo como el principal recurso energético del planeta ha generado impactos positivos en las economías de muchos países; sin embargo, contrariamente, esto también ha desembocado en problemas de contaminación con efectos nocivos en los recursos y servicios ambientales a nivel mundial.

Diferentes accidentes de petróleo en el mundo (Tabla 1) han abierto los ojos a los investigadores sobre las causas inmediatas y a largo plazo de los contaminantes presentes en el petróleo.

Las actividades agropecuarias y agroindustriales dan origen a una serie muy amplia de esquilmos y subproductos derivados en su mayor parte de cereales, los que generan contaminación al disponer de ellos de manera irresponsable, además de carecer de procesos establecidos que permitan su empleo para obtener productos de valor agregado. Estos residuos vegetales están constituidos principalmente por biomasa lignocelulósica, siendo los polímeros de celulosa y hemicelulosa los presentes en mayor cantidad, los cuales pueden ser degradados por diversos microorganismos.

El olote del maíz conocido también como raquis de maíz se encuentra entre las fuentes de recursos no maderable, es un tejido esponjoso y blanco que representa la médula donde se almacenan las reservas alimenticias del cereal, compuesto por una base seca por celulosa (45 %), hemicelulosa (35 %) y lignina (15 %), de los cuales la hemicelulosa se compone mayoritariamente por xilano de olote (28-35 % base seca) uno de los heteroxilanos complejos que contiene residuos de xilosa con enlaces β -1,4 (Saha y Bothast, 1999). El xilano de olote de maíz se compone principalmente de xilosa (48-54 %), arabinosa (33-35 %), galactosa (5-11 %) y ácido glucurónico (3-6 %) (Doner y Hicks, 1997; Saha y col., 2003). Estas características le confieren al olote la posibilidad de ser empleado como sustrato en la producción de la enzima xilanasa.

Tabla 1.- “Antecedentes de derrames en el golfo de México”

Antecedentes de derrames de hidrocarburos en el golfo de México						
Fecha	Compañía	Localización	Nombre	Suceso	Perdidas	Fuente
1995	Pemex	Terminal marítima madero	Buque tanque Sebastián lerdo de tejada	Derrame de hidrocarburos	33,500 litros de hidrocarburos y 3 toneladas de residuos impregnados	U.S. Coast Guard y SEMAR, 2012.
2006	High island offshore system	56 km al oeste de Galveston Texas	Oleoducto high island	Avería en dos secciones del oleoducto	1 252 barriles de crudo ligero	U.S. Coast Guard y SEMAR, 2012
2007	Pemex	Zonda de campeche	Pozo kab 121	Plataforma Usumacinta golpea el árbol de válvulas ocasionando una fuga de hidrocarburo	22 788 barriles de petróleo	U.S. Coast Guard y SEMAR, 2012
2010	BP	72 km de las Costas de louisiana	Pozo macondo/plataforma Deep wáter horizon	Explosión en paquete de perforación	5,000,000 de barriles de petróleo en 3 meses	Wassel 2012 U.S. Coast Guard y SEMAR, 2012

Fuente: Los hidrocarburos en el noreste de México 2015

El Raquis de maíz se encuentra entre las fuentes de recursos no maderables con un alto contenido de xilanas, por lo que ha sido considerado de interés como fuente alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial, entre otras fuentes de biomasa (Córdoba 2010). El olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación de grano de maíz, se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg. de olote (CIMMYT-1995).

Datos recientes sobre la producción de maíz en el 2010 (884 millones de toneladas) puede estimarse que se generan alrededor de 144 millones de toneladas de olote por año (FAOSTAT 2012).

En este sentido el uso o aplicación química del olote ha estado muy restringido debido a la dificultad que existe de acceder a sus componentes (carácter recalcitrante) e incompleta caracterización química, así como la valoración de sus principales productos (lignina, celulosa, y hemicelulosas). Estos aspectos han limitado su utilización y conducido a la quema del olote como recurso o al esparcimiento de sus residuos a la intemperie, generando un problema de contaminación ambiental. Entre los usos del olote que han sido reportados en esta presente literatura es su aplicación como forraje en granjas, soporte para soportar la erosión de la tierra y también como sustratos para la extracción de la encima xilanasa.

Los investigadores Adolfo Brown-Gómez, José Alberto Pérez-Hernández, Yaima Izquierdo-González realizaron un estudio con bagazo integral a la salida del tándem de la empresa azucarera “Héctor Molina” para evaluar sus potencialidades como material adsorbente con prestaciones en el control para derrames de hidrocarburos que pueden producirse como resultado de las deficiencias operacionales en las empresas azucareras. Para un bagazo con una densidad aproximada de 80 kg/m³, se evaluó la incidencia del contenido de humedad y la granulometría de la fibra en su capacidad de adsorción.

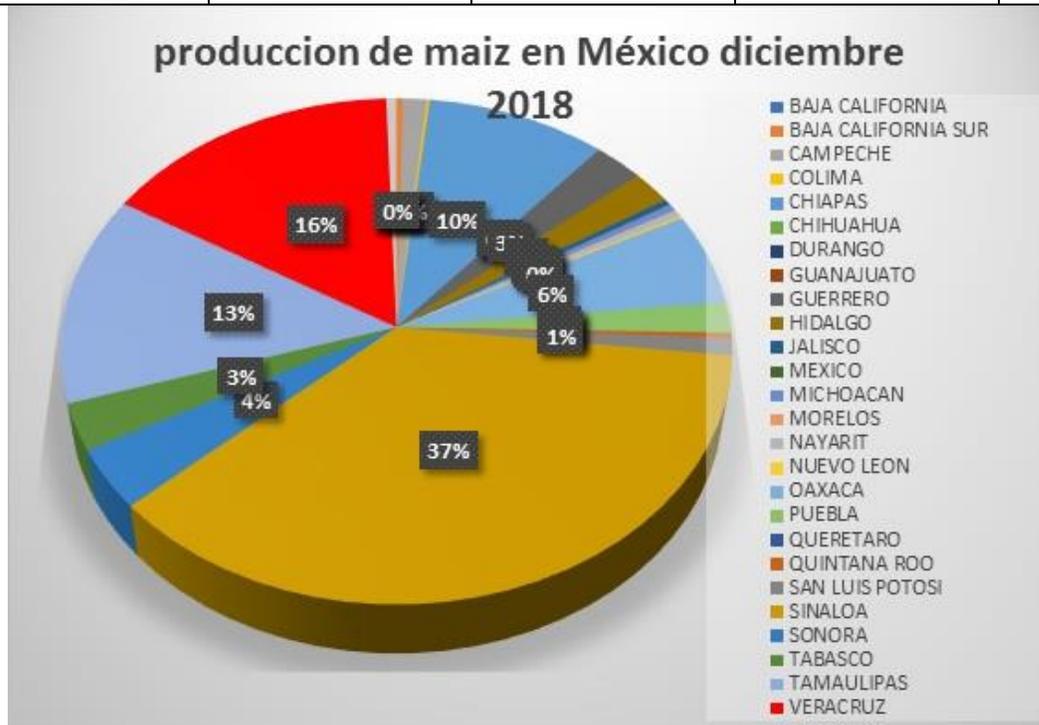
Fuente: Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo en derrames de hidrocarburos ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 49, núm. 1, enero-abril, 2015,

Hectáreas de maíz de grano sembradas en Veracruz 2018			
Mes	Hectáreas sembradas	Hectáreas cosechadas	Producción por tonelada
Enero	150,994		
Febrero	184,010	4,714	17,242
Marzo	185,495	9,910	34,227
Abril	185,495	55,492	162,008
Mayo	185,495	139,263	345,882
Junio	185,495	171,716	440,405
Julio	185,495	181,483	459,076
Agosto	185,495	185,495	469,430
septiembre	185,495	185,495	469,430
Octubre	185,495	185,495	469,430
noviembre	185,495	185,495	469,430
Diciembre	185,495	185,495	469,430

Fuente: Servicio de alimentación agroalimentario y pesquero
http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Tabla 2.- Hectáreas de maíz de grano sembradas en Veracruz mes de diciembre 2018

Composición del raquis de maíz, según trabajos de investigación				
Componentes %	Córdoba et al 2007	Garrote et al 2007	Rivas et al 2004	Thomson 1995
Hemicelulosa	33.6	31.1	39	33.7 - 41.2
Celulosa	45+	34.3	34.3	30.0 - 41.7
	50++			
Lignina klason	15.8	18.8	14.4	4.5 - 15.9
Cenizas	2	no reporta	no reporta	no reporta



http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Figura 1: Producción de maíz por estado en México en el 2018

De igual forma se comprobó la incidencia de los contenidos de humedad de la fibra en la absorción de hidrocarburos, donde el bagazo con un contenido promedio de humedad de 31.57 % es capaz de adsorber 4.94 g hidrocarburo/ g bagazo, valores que se incrementan cuando el contenido de humedad promedio es de 11.48 % hasta 5.68 g hidrocarburo/g bagazo. Se demostró que no se existe una proporcionalidad directa entre la reducción del contenido de humedad y los niveles de adsorción, sobre el cual inciden también, otros aspectos como la viscosidad del hidrocarburo. Basándose en el estudio anterior se analiza el uso del raquis de maíz para esa actividad

Fuente: fragmento Tesis Propuesta de un sistema de biofiltración de cromo hexavalente en agua utilizando olote de maíz Jennifer Cortez Velázquez julio 2015 Universidad autónoma del estado de México Facultad de planeación urbana y regional

Tabla 3.- Composición del raquis de maíz, según trabajos de investigación

2. Desarrollo

Las muestras de raquis de maíz utilizadas fueron obtenidas en un campo de siembra de maíz, en el municipio de Tenochtitlan, Veracruz. Las muestras del material absorbente fueron lavadas y secadas para su utilización. Se investigó el potencial del olote en experiencias en el laboratorio y se realizaron 3 muestras con petróleo de 24° API Y agua; estos estuvieron en contacto por un tiempo 30 min en vasos de precipitado, permitiendo la interacción entre estos, para favorecer la absorción del petróleo. Las muestras fueron una mezcla de aceite y agua en una proporción 1 a 3, con un volumen total de las muestras de 80 ml.



Figura 2 Muestras de raquis de maíz utilizadas y muestras de hidrocarburo utilizadas

Se hace mención que para obtener una mayor veracidad en cuanto a las características en las que se presenta un derrame de petróleo en fuentes hídricas, las condiciones en las que se llevó a cabo este proceso fueron no controladas, para de esta manera obtener conclusiones más reales en cuanto a las características de estos accidentes y su remediación

Para la primera muestra, se colocó dentro de la mezcla de petróleo y agua. partículas del material absorbente (olote) de 2 cm, siendo un total de 6 partículas, en la cual después del tiempo establecido anteriormente, al retirar las partículas del olote impregnadas con el petróleo, se puede observar de forma cualitativa que una tuvo una capacidad máxima de adsorción del 70%.



Figura 3 Absorción de hidrocarburo en partícula 1 de raquis de maíz

Para la segunda muestra, se colocó dentro de la mezcla de petróleo y agua. partículas del material absorbente (olote) de 1 cm, siendo un total de 12 partículas, en la cual después del tiempo establecido anteriormente, al retirar

las partículas del olote impregnadas con el petróleo, se puede observar de forma cualitativa que una tuvo una capacidad máxima de adsorción del 70%.



Figura 4 Absorción de hidrocarburos en la partícula numero 2 de raquis de maíz

Para la tercera muestra, se colocó dentro de la mezcla de petróleo y agua. partículas del material absorbente (olote) el cual fue molido en proporción a las muestras anteriores únicamente una tercera parte, en la cual después del tiempo establecido anteriormente, al retirar las partículas del olote impregnadas con el petróleo, se puede observar de forma cualitativa que una tuvo una capacidad máxima de adsorción mayor a las dos muestras anteriores logrando alcanzar un 90%, tomando en cuenta que se estaba trabajando con partículas más pequeñas que las muestras anteriores se pudo observar que el material impregnado se compacto y en el momento de ser retirado con pinzas de los vasos de precipitado, este pudo ser retirado, al igual que las muestras anteriores, con mucha facilidad.

3. Resultados

Muestra 1: Tamaño de partícula 2cm, en proporción 75% agua y 25 % petróleo (60 y 20 ml respectivamente), en la cual se observa un 70% de remoción de petróleo, al retirar las partículas de olote colocadas en la muestra de manera individual.

Muestra 2: Tamaño de partícula 1cm, en proporción 75% agua y 25 % petróleo (60 y 20 ml respectivamente), en la cual se observa un 70% de remoción de petróleo, al retirar las partículas de olote colocadas en la muestra de manera individual.



Figura 5 Absorción de hidrocarburos en la partícula numero 3 de raquis de maíz

Muestra 3: Tamaño de partícula 2mm, las cuales a diferencia de las primeras dos muestras únicamente se utilizó una tercera parte del olote utilizado anteriormente, en proporción 75% agua y 25 % petróleo (60 y 20 ml respectivamente), en la cual se observa de manera cualitativa un incremento notable de remoción de petróleo logrando alcanzar un 90%, además de una separación del olote con aceite absorbido de la mezcla, retirando todo el material absorbente y aceite en una sola etapa.

Los resultados presentados evidencian la capacidad de absorción de aceites por parte del raquis de maíz, lo cual permite inferir el potencial uso agregado de este material, considerado como residuo, como una alternativa de material absorbente en el caso de derrames de hidrocarburo en medios acuoso.

Estudios adicionales permitirán establecer las condiciones de operación que mejor favorezcan al proceso de absorción, utilizando al raquis de maíz como material absorbente.

4. Conclusión

A partir de las pruebas realizadas, se puede inferir que el raquis de maíz, como material cuya composición principal es celulosa, presenta características absorbentes en presencia de aceites hidrocarburos, mostrando un incremento en su eficiencia de acuerdo al tamaño de partícula utilizado para el proceso de absorción.

Con este resultado se justifica la continuación de pruebas de capacidad de absorción de hidrocarburos en olote (material celuloso), estudiando de forma más estructurada su eficiencia de acuerdo a tamaño de partícula, densidad de aceite a absorber, y concentración salina en agua, y así obtener un modelo predictivo de calidad de absorción en función de estos factores.

5. Bibliografía

Arroyo, M., Quesada, M., Quesada, R. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. Geocisa. Div. Protección Ambiental de Suelos. 2008

Fatima B, Flavio A, Oliveira C, Benedict O, William T, Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. Brazilian Journal Microbiology. Braz. J. Microbiol. vol.34 suppl.1 São Paulo Nov. 2003

Karagöz S., Bhaskar T., Muto A., Sakata Y. Comparative studies of oil compositions produced from sawdust, rice husk, lignin and cellulose by hydrothermal treatment. January 06, 2005

Tiwari S., Gupta, V.K., Pandey, P.C., Singh, H., Mishra, P.K. Adsorption chemistry of oil-in-water emulsion from spent oil based cutting fluids using sawdust of *Mangifera indica*. J. Int. Environ November 19, 2008

Brown-Gómez, Adolfo; Pérez-Hernández, José Alberto; Izquierdo-González, Yaima Incremento del valor calórico del bagazo a partir de su empleo en derrames de hidrocarburos ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 49, núm. 1, enero-abril, 2015,

Arcos Navarro, Genaro Derrame petrolero en Golfo de México y sus consecuencias en Tamaulipas Ciencia UAT, vol. 5, núm. 1, julio-septiembre, 2010,

Propuesta de un sistema de biofiltración de cromo hexavalente en agua utilizando olote de maíz Jennifer Cortez Velázquez julio 2015 Universidad autónoma del estado de México Facultad de planeación urbana y regional p.p.23

Córdoba, A., Delgado, F. & Toriz, G. (2010). Generación de compuestos orgánicos en el olote, mediante la oxidación en húmedo. Investigación, Biodiversidad y Desarrollo, 29, 186 -200.

Garrote, G., Falqué, E., Domínguez, H. & Parajó, J. C. (2007a). Autohydrolysis of agricultural residues: study of reaction byproducts. Bioresour. Technol, 98, 1951-1957.

CIMMYT (1995). Manejo de los ensayos e informes de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz, México DF, ISBN: 970-648-045-5, 20 p.

FAOSTAT. (2012). Producción mundial de maíz.
Available: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.

Servicio de alimentación agroalimentario y pesquero
http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Internet de las Cosas aplicado a la medición del consumo de corriente eléctrica.

Carlos Arturo Espinoza Galicia¹, Williams Gómez López², Mario Escalante Cantu³, Anahi Angeles Hernández⁴, José de Jesús Reyes López⁵.

Carlos Arturo Espinoza Galicia, M.I.D.S, es Profesor Investigador de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. cespinoza@iteshu.edu.mx.

²El M. en C. Williams Gómez López, es profesor Investigador de la División de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. wgomez@iteshu.edu.mx

³El ciudadano Mario Escalante Cantu es inscrito en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a16021553@iteshu.edu.mx

⁴La ciudadana Anahi Angeles Hernández es inscrita en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a17021187@iteshu.edu.mx.

⁵El ciudadano José de Jesús Reyes López es inscrito en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. a16021175@iteshu.edu.mx

Resumen— En este trabajo se presenta el desarrollo de software y hardware que permita la consulta del consumo de energía eléctrica por periodos de tiempo haciendo uso del Internet de las Cosas. Para ello se utilizaron las metodologías en capas, buenas prácticas de programación y la implementación de la metodología SCRUM. El proyecto es un desarrollo e implementación de software el cual, mediante el uso de protocolos de comunicación, se realiza la administración y gestión de cobros de departamentos en un complejo habitacional. El desarrollo fue realizado con base a las necesidades de una empresa que requería un software que permitiera administrar un conjunto de equipos IEC 672053, los cuales no cuentan con una interfaz que permitiera obtener la cantidad de energía eléctrica consumida en un periodo de tiempo, reinicio del dispositivo, asignación de identificación, entre otros, los cuales son de importancia para la empresa al momento de realizar el cobro. Esta propuesta también contempla el software que permita la comunicación hacia el exterior (Internet) implicando añadir dispositivos que realicen esto. El resultado obtenido es un sistema capaz de administrar los cobros de consumo de energía eléctrica desde cualquier dispositivo y en cualquier lugar con acceso a internet permitiendo al usuario generar los tickets de consumo, aclarar dudas sobre consumo, reinicio de contadores, etc.

Palabra(s) clave— ESP8266, MQTT, MODBUS, Visual C#, KANBAN, SCRUM.

Abstract— This paper presents the development of software and hardware that allows the consultation of the consumption of electrical energy for periods of time making use of the Internet of Things. For this, layered methodologies, good programming practices and the implementation of the SCRUM methodology are used. The project is a development and implementation of software which, through the use of communication protocols, administers and manages collections of apartments in a housing complex. The development was carried out based on the needs of a company that requires software that allows to manage a set of IEC 672053 equipment, which does not have an interface that allows obtaining the amount of electrical energy consumed in a period of time, restarting the device, identification assignment, among others, which are an important child for the company at the time of payment. This proposal also includes the software that allows communication to the outside (Internet) involving adding devices that do this. The result obtained is a system capable of managing the charges of electric power consumption from any device and in any place with Internet access specified to the user to generate consumption tickets, clarify doubts about consumption, reset counters, etc.

Key words – ESP8266, MQTT, MODBUS, Visual C#, IoT, SCRUM.

1. Introducción

El Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU) cuenta con la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales cuya especialidad es la de Internet de las Cosas, en donde los s aprenden de las herramientas básicas para la realización de proyectos integrando la automatización de captura de datos mediante sensores electrónicos automatizando también la toma de decisiones una toma de decisión.

Como primeros resultado de sus estudios, se ha participado en el desarrollo de una plataforma que permite al usuario registrar sensores de temperatura, presión atmosférica, detección de movimiento, entre otros sensores el cual a partir de periodos de tiempos que son configurable en la plataforma registra los valores y presentar la información mediante gráficas o la descarga de los valores en archivos CSV.

La plataforma tiene el nombre de IoTCloud y el día de hoy presenta una segunda versión en el que se cuenta con una aplicación móvil y una interfaz mejorada para el usuario.

Con la experiencia que se obtuvo en el desarrollo de esta plataforma, se desarrolló junto con la empresa SoftBi Solution un sistema integrado por software y hardware que permita gestionar el cobro del consumo eléctrico de un complejo departamental, el cual al hacer uso de los dispositivos IEC 672053 permitirá obtener el consumo de energía eléctrica de cada uno de los departamentos en periodos que el gerente de departamentos establezca.

El complejo departamental cuenta con una sola toma de energía eléctrica ante la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y realizar el contrato de toma eléctrica por cada departamento no sería viable, por lo cual se optó instalar a cada departamento un medidor de corriente eléctrica para conocer el consumo total mes a mes por departamento sin embargo los dispositivos instalados no cuentan con una interfaz de usuario que permita obtener las lecturas por mes (o por el periodo deseado), la asignación de numeración de cada dispositivo, el reinicio de la medición, entre otros. Por lo que la empresa SoftBi Soluciones se contactó con el personal del ITESHU solicitando la construcción de un prototipo de software el cual sirviera de interfaz de usuario para cada uno de los medidores de consumo de corriente eléctrica (modelo IEC 672053 (Figura 1)), esto realizando bajo la comunicación con el protocolo RS485 y obteniendo así el consumo y por tanto el costo a pagar por cada departamento.



Figura 1: Medidor de consumo de corriente eléctrica modelo IEC 672053. Dispositivo que cuenta con comunicación RS485 el cual debe de ser manipulado con un software que permita enviar y recibir comandos. Fuente: Creación Propia.

Existen en el mercado dispositivos o empresas que permiten realizar la gestión del consumo de energía eléctrica, sin embargo la empresa SoftBi Solutions cuenta con proveedores en China que abastece a la empresa con dispositivos económicos (tal como el IEC 672053) y no es requisito de la empresa comprar dispositivos o contratar empresas que instale infraestructura compleja debido a que esto se traduce en costos que la empresa lo vería reflejado en el aumento del pago de servicios por parte de sus clientes.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se emplearon dos metodologías: una para el desarrollo técnico y otra para el seguimiento de este.

Desarrollo Técnico

Para el desarrollo técnico de la solución se utilizó el lenguaje de programación Visual C# empleando además un modelo de capas [1] (Figura 2) junto con las buenas prácticas de programación y principios como Clean Code [2], KISS [3] y SOLID [4], con el propósito de mantener el código entendible, ordenado y abierto con el fin de brindar futuras actualizaciones y modificaciones. Aunado con lo anterior se incluyó la capa base en los proyectos de la interfaz gráfica.

Las capas que fueron implementadas son [4]:

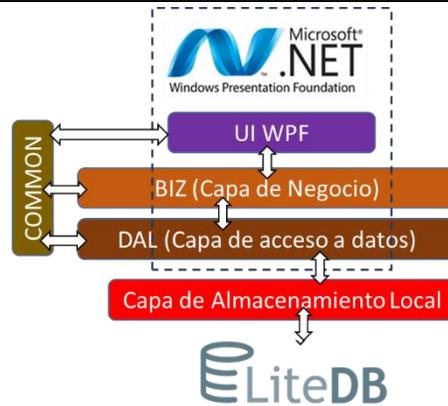


Figura 2: Diagrama de arquitectura en Capas de la solución desarrollada. Esta propuesta se eligió por la facilidad de mantenimiento y actualización del software, Fuente: Creación Propia.

- Capa Común (COMMON): Se encarga de mapear todas las entidades que se ocupan en el desarrollo de todo el software y es la única que puede ser instanciada en todas las demás capas.

- Capa de Acceso de Datos (DAL): Cuenta con métodos CRUD (Create, Read, Update, Delete) y se comunica con una base de datos LiteDB, permitiendo el transporte de datos (entrada o salida); esta capa no mantiene comunicación directa con el usuario, solamente se comunica con la capa de negocios (BIZ) y utiliza la capa común (COMMON) para obtener las entidades.

- Capa de Lógica de Negocios (BIZ): Contiene la lógica que realiza las funciones principales de la solución que se comparte entre las aplicaciones móvil, web y escritorio. Está directamente en relación con la capa DAL, en esta se encuentran todos los métodos que permiten hacer cualquier proceso con la información ingresada por el usuario y/o extraída de la base de datos y mostrada en la Interfaz. Aquí se encuentran los manager de cada objeto que se formaron implementando la interfaz del manager genérico, ubicada en la capa COMMON, teniendo consigo, aparte de los métodos CRUD, sus métodos individuales.

- Capa de Interfaz de Usuario (UI): Se divide en diferentes proyectos con utilidad para los usuarios y administradores. Para cada plataforma se podrá acceder únicamente con usuario y contraseña evitando que cualquier usuario tenga acceso.

- Aplicación Escritorio (WPF): La interfaz de escritorio de Windows se desarrolló usando WPF, la cual tiene como características la de poder gestionar los medidores de cada departamento, periodos de renta y cobros de los mismos, además permite acciones como la configuración de nuevos medidores y la personalizar el ticket que se entrega al cliente final.

En lo que respecta a la comunicación entre los medidores de electricidad y el software, se utiliza el protocolo MODBUS [5] el cual es un protocolo de comunicaciones, basado en la arquitectura maestro-esclavo o cliente-servidor, diseñado para trabajar con controladores lógicos programables, permitiendo el control de una red de dispositivos y comunicar los resultados a una computadora mediante el puerto USB cubriendo en un solo hilo una gran distancia (Figura 3).



Figura 3: Convertidor USB-RS485 usado para la comunicación de los lectores con la PC. El protocolo RS485 se destaca en cubrir grandes distancias de cableado (en forma ideal, aproximadamente 1 km con una velocidad de transferencia de 100 kb/s). Fuente: Construcción Propia.

Como ampliación de este proyecto se propone una comunicación inalámbrica y de forma remota, mediante el paradigma de Internet de las Cosas utilizando el protocolo MQTT [6], como medio de transporte, y el uso de la tarjeta NodeMCU ESP8266 [7] (Figura 4) la cual es una tarjeta para IoT (Internet de las Cosas)

basada en el chip ESP8266 constituido con un módulo de conexión WiFi de forma nativa cuya programación es mediante el lenguaje LUA o mediante Processing usando el Arduino IDE [8] permitiendo la conexión del dispositivo al servicio de internet de forma directa.

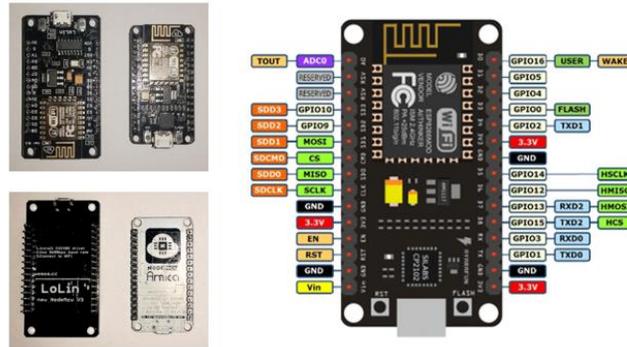


Figura 4: Tarjetas NodeMCU en versiones Lolin y Amica, así como el esquema de conexión. Este dispositivo ha alcanzado gran aceptación en la comunidad Arduino por las funciones de comunicación inalámbrica que incorpora en un solo encapsulado.

Por otra parte, la comunicación entre la NodeMCU y el lector IEC 672053 se utiliza el módulo Serial Max485 (Figura 5) el cual convierte directamente el protocolo MODBUS a serie, el cual se conecta directamente con los pines RX y TX de la tarjeta NodeMCU.



Figura 5: Modulo Serial Max485 RS485 a Rs232. El NodeMCU cuenta con comunicación serial, sin embargo se requiere del módulo Max485 con la finalidad de hacer uso del protocolo RS485 con los medidores proporcionados por la empresa. Fuente Construcción Propia

Seguimiento del Proyecto

Para la planeación y seguimiento del proyecto se utilizó la metodología ágil de SCRUM [9] la cual está basada en cuatro valores y permiten desarrollar proyectos de forma más acertada con las necesidades del cliente y responder mejor a los cambios que pudieran surgir al largo del proyecto. Ofreciendo una alternativa más efectiva que los procesos tradicionales caracterizados por la rigidez y dominados por la documentación.

Los valores que rigen esta metodología son:

1. Valorar a las personas y las interacciones entre ellas por sobre los procesos y las herramientas
2. Valorar el software (producto) funcionando sobre la documentación detallada
3. Valorar la colaboración con el cliente por sobre la negociación de contratos
4. Valorar la respuesta a los cambios por sobre el seguimiento estricto de los planes

Como se muestra en la Figura 6, el proceso de desarrollo de software mediante Scrum se ejecuta en ciclos temporales cortos y de duración fija (iteraciones que normalmente son de 2 semanas, aunque en algunos equipos son de 3 y hasta 4 semanas, límite máximo de feedback y reflexión). Cada iteración tiene que proporcionar un resultado completo, un incremento de producto final que sea susceptible de ser entregado con el mínimo esfuerzo al cliente cuando lo solicite.



Figura 6: Metodología de seguimiento de proyectos SCRUM [96]

En la Figura 7, se muestra la herramienta de control de versiones GitLab la cual cuenta con un tablero que permite gestionar las tareas usando la metodología KANBAN complementando muy bien con SCRUM ya que permite la autogestión del equipo evita sobreesaturación y detecta cuellos de botella, todo esto en función de la capacidad de trabajo de los integrantes del equipo.

El uso en conjunto de estas metodologías permitió el correcto desarrollo del proyecto, así como la culminación en tiempo y forma de este.

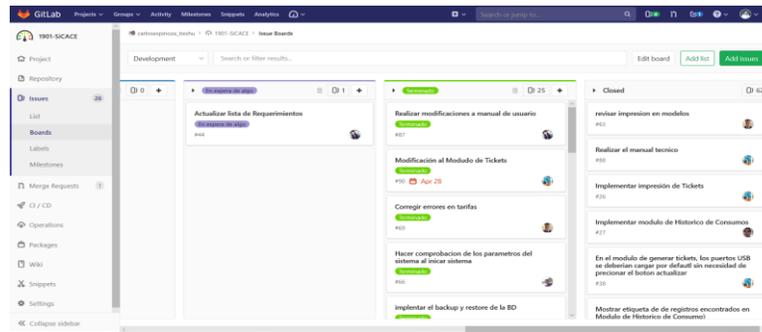


Figura 7: Una herramienta indispensable para la planeación y ejecución de pasos a realizar en el desarrollo de software es el uso de un Tablero permitiendo la gestión de las tareas del proyecto. (Construcción Propia)

3. Resultados

El software desarrollado cuenta con las funciones de:

- Gestión de departamentos (Figura 8): permite gestionar los inquilinos de cada departamento, su fecha de ingreso y salida.
- Tarifas (Figura 9): permite gestionar las tarifas que se aplican dependiendo el consumo que cada departamento presenta.
- Generación de Tickets (Figura 10): permite obtener las lecturas de todos o un determinado lector, con esta información genera un ticket y un registro de cobro/consumo, permitiendo también el reinicio del medidor par aun siguiente periodo o inquilino.
- Histórico de Consumos (Figura 11): permite encontrar y gestionar los cobros hechos a los inquilinos.
- Configuración (Figura 12) permite gestionar la personalización del ticket, la impresora de tickets y cuenta con herramientas para agregar y configurar nuevos medidores.



Figura 7: Pantalla de Gestión de Departamentos (Construcción Propia)



Figura 8: Ventana de gestión de tarifas (Construcción Propia)



Figura 9: Ventana de Generación de Tickets (Construcción Propia)



Figura 10: Ventana de Histórico de Consumos (Construcción Propia)

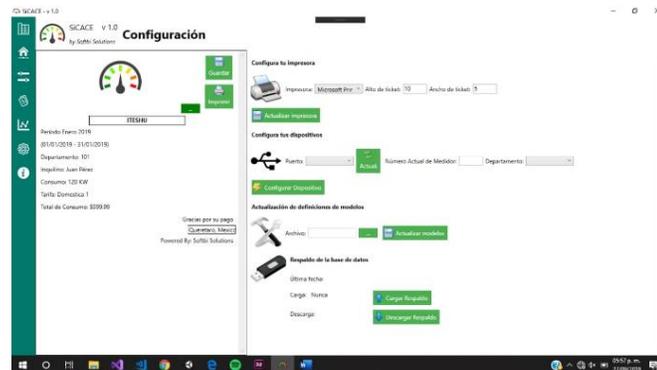


Figura 11: Ventana de Configuración (Construcción Propia)

La figura 13 muestra el panel de control de broker MQTT [10] utilizado para monitoreo de las conexiones.

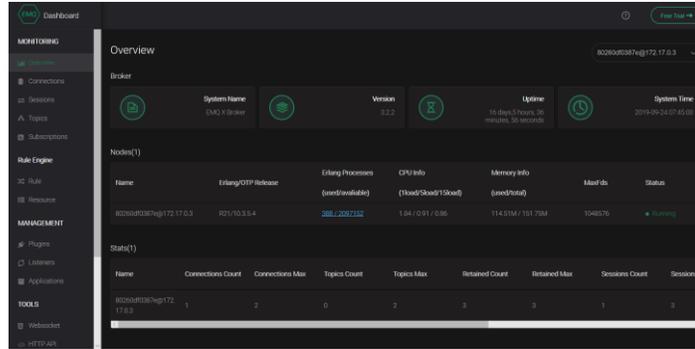


Figura 12: Panel de Control del Broker MQTT utilizado (Construcción Propia)

Mientras que el esquema de conexión entre el Módulo Serial Max 485 y la NodeMCU se muestra en la Figura 14.

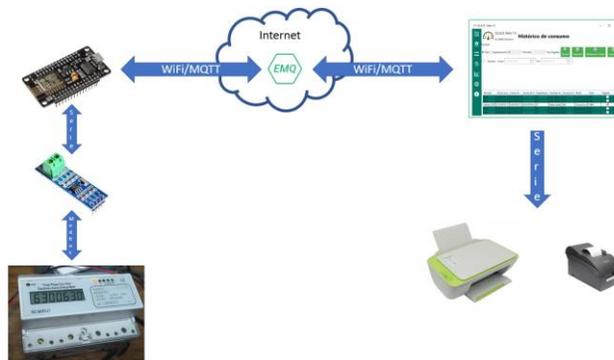


Figura 14: Esquema de funcionamiento del proyecto implementando Internet de las Cosas (Construcción Propia)

Con lo anterior, permitió al gerente de departamentos gestionar el consumo de energía eléctrica imprimiendo el consumo de cada arrendatario y así obtener el costo de consumo de manera correcta.

4. Conclusiones

El correcto desarrollo del software y la arquitectura en capas permiten fácilmente la actualización al uso de nuevas tecnologías como la NodeMCU ESP8266, esto debido a que primero se desarrollo el sistema utilizando una comunicación local (computadora-sistema) y posteriormente se anexó la funcionalidad del ESP8266 brindando al dispositivo los parámetros de conexión a la plataforma necesarios.

El proyecto lleva en funcionamiento con el cliente final desde el mes de octubre de 2019 en el que se está llevando a cabo el cobro de los inquilinos del complejo departamental ya sea estando en los departamentos como en otro lugar.

El uso del protocolo de comunicación MQTT es requerido para la salida de los datos a internet, debido a que una de las desventajas del IoT es la seguridad, por lo que atendiendo este problema se optó por usar dicho protocolo por la forma sencilla de implementar en el desarrollo como su uso.

Este proyecto es de gran importancia para la carrera de Ing. en Sistemas Computacionales ya que participaron s de 4to y 6to semestre y además presenta la oportunidad explorar soluciones a empresas y poder colocar un producto real en este sector, lo anterior derivado con la experiencia obtenida al trabajar con SoftBi Solution al permitir trabajar con herramientas que se imparten en la especialidad dando oportunidad de visualizar nuevos enfoques en las materias en los próximos años.

5. Referencias

Microsoft Corporation, Microsoft Application Architecture Guide, Patterns & Practices, 2nd Edition, Redmond: Microsoft Corporation, 2009.

M. J. Price, C# 7.1 and .NET Core 2.0 – Modern Cross-Platform Development, Birmingham, UK.: Packt Publishing, 2017.

S. Rossel, «KISS — One Best Practice to Rule Them All,» 19 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://simpleprogrammer.com/2015/08/19/kiss-one-best-practice-to-rule-them-all/>.

S. Ritchie, Pro .Net Best Practices, New York: Apress, 2011.

EEYMUC, «Protocolo Modbus Guía de Formación y de Implementación,» EEEYMUC, Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.eeymuc.co/31-protocolo-modbus/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].

N. O'Leary, «Arduino Client for MQTT,» Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://github.com/knolleary>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].

G. Martín, «Cómo programar NodeMCU con el IDE de Arduino,» 22 09 2017. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/esp8266/como-programar-nodemcu-ide-arduino/>.

NodeMCU Team, «NodeMcu: Connect Things EASY,» 2014. [En línea]. Available: http://www.nodemcu.com/index_en.html.

Proyectos Agiles.com, «¿Qué es Scrum?,» 2016. [En línea]. Available: <https://proyectosagiles.org/ques-scrum/>.

EMQX, «EMQX,» [En línea]. Available: <https://www.emqx.io/>. [Último acceso: 10 Septiembre 2019].

Competitividad y sustentabilidad con un enfoque de calidad en el sector productor de muebles de la región de Misantla, Ver.

Juan José Balderas Pérez, Ingeniero en Gestión Empresarial¹, Luis Carlos Sandoval Herazo, Doctor en Desarrollo Sustentable², Graciela Elizabeth Nani González, Licenciada en Economía³, Elizabeth Delfín Portela, Ingeniera en Sistemas⁴, Fabiola Sánchez Galván, MII.⁵

Ing. Juan José Balderas Pérez, es Ingeniero en Gestión Empresarial, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: junjose.balpe@gmail.com

² Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, es Doctor en Desarrollo Sustentable, Profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: lcsandovalh@itsm.edu.mx

³ Lic. Graciela Elizabeth Nani González, es profesora en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla adscrita a la División de Ingeniería en Gestión Empresarial, Misantla, Veracruz. Mail: genanir@itsm.edu.mx

⁴ Ing. Elizabeth Delfín Portela, es Ingeniera en Sistemas, es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: portela341@gmail.com

⁵ Dra. Fabiola Sánchez Galván, es Profesora Investigadora de la División de Posgrado en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: fsgalvan001@gmail.com

Resumen— Desde la entrada en vigor del modelo económico neoliberal en 1982 en nuestro país, se ha dado lugar a que la industria dedicada a la producción de Muebles de la Región de Misantla, Ver. tenga que avanzar hacia modelos de negocio sustentables para poder adaptarse a los cambios en la legislación, tendencias del mercado y a las necesidades de los clientes. En este trabajo se analizan los principales aspectos de calidad y ambientales del sector del mueble para la región de Misantla, para desarrollar una serie de criterios de sustentabilidad con un enfoque de calidad para la definición de soluciones de diseño que contribuyan a una producción y consumo respetuoso con el medio ambiente y a una mejora de la competitividad del sector, ya que es un desafío en cuanto a competitividad especialmente para las pequeñas y medianas empresas, que son las que conforman este sector. La competitividad en la industria del mueble involucra aspectos relacionados con la calidad, productividad, servicio al cliente, y en general todas aquellas categorías que orientan la cadena productiva ya que la competitividad en el sector depende de su capacidad de innovación, por lo que para que las empresas de este sector sean competitivas deben enfrentarse a las presiones y desafíos de calidad y sustentabilidad, y tendrán que responder con mejoras tecnológicas y con la introducción de cambios en la producción y con el aprovechamiento sustentable de los recursos, por lo que aquí se propone el uso de las herramientas de calidad de la ingeniería industrial y del uso sustentable tanto de las materias primas como de los insumos y desechos del proceso productivo.

Palabras clave— Industria del mueble, sustentabilidad, calidad, competitividad, innovación.

Abstract— Since the entry into of the neoliberal economic model in 1982 in our country, it has led to the industry dedicated to the production of furniture in the region of Misantla, Ver. have to move towards sustainable business models to adapt to changes in legislation and market trends. This paper analyzes the main quality and environmental aspects of the furniture sector for the Misantla region, to develop a series of sustainability criteria for the definition of design solutions that contribute to production and consumption that is respectful of the environment and an improvement in the competitiveness of the sector, since it is a challenge in terms of competitiveness especially for small and medium-sized companies, which are what make up this sector. The competitiveness in the furniture industry involves aspects related to quality, productivity, customer service, and in general all those categories that guide the productive chain since competitiveness in the sector depends on its capacity for innovation, so that the companies in this sector are competitive must face the pressures and challenges of quality and sustainability, and will have to respond with technological improvements and with the introduction of changes in production and with the sustainable use of resources.

Key words: Furniture industry, sustainability, quality, competitiveness, innovation.

1. Introducción

En nuestro país existe una importante industria dedicada a la fabricación de muebles de madera, como lo hace constar el informe de la Industria del Mueble que presentó la Secretaría de Economía en 2015, en dicho informe se hace referencia a que en México la industria del Mueble participa con el 1.3 % del Producto Interno Bruto (PIB), que corresponde a 35,607 millones de pesos (SE, 2015) y emplea a 92,107 personas.

La industria del mueble está integrada por pequeñas, medianas y grandes empresas, ubicadas en diversas regiones del país, con una oferta productiva que comprende mobiliario para el hogar, oficina y negocios, elaborados con materiales como madera, metal, herrajes, plástico y tapicería, que se compran fácilmente en el mercado nacional, es importante mencionar, que en este trabajo solo se abordan los productos elaborados a partir de la madera ya que son los que se fabrican en la región de Misantla que es nuestra área de estudio.

De manera general, la industria del mueble se ha visto afectada por la apertura económica que sucedió en la década de los ochentas, dando lugar a la entrada de más empresas extranjeras que ofrecen productos similares, creando mayor competencia, esto sucedió a raíz de la utilización del modelo económico neoliberal cuya bandera principal es la apertura económica, dando lugar a la participación en el mercado nacional a empresas internacionales que compiten con las empresas mexicanas, ya que elaboran muebles de diferentes materiales, a precios bastante competitivos y dejan en situación de desventaja a los muebles que se producen en nuestro país.

En México el total de empresas registradas que se dedican a la manufactura de muebles de madera es de 27,131 establecimientos (INEGI, 2016), que corresponden al 2% del total de las manufacturas que se elaboran en el país, y para el caso del estado de Veracruz, de acuerdo con datos del censo económico de 2016 el total de empresas que se encuentran registradas dedicadas a la industria del mueble es de 2,413 y representan el 8.8% de la producción a nivel nacional y para el caso específico de la Municipio de Misantla, a la fecha se tienen registradas por la Dirección Municipal de Comercio 645 carpinterías, de las cuales el 26.6% de las cuales 172 se encuentran dadas de alta como pequeños contribuyentes y representan el 27% del total (INEGI, 2014) y el 63% restante se encuentra dentro de la economía informal.

La industria del mueble en la región de Misantla es muy importante, ya que de ella dependen económicamente más de 600 familias, por lo que para lograr hacer un diagnóstico y un acercamiento con los productores de muebles de madera y entender su funcionamiento, e identificar la problemática a la que se enfrentan, se aplicó un cuestionario, que permite ofrecer un diagnóstico preliminar de la problemática a la que se enfrenta este sector productivo, dicho cuestionario contó con 31 preguntas, y se aplicó a 61 empresas de la región, considerando una distribución equitativa de los sitios donde se aplicó y con un nivel de confianza del 90% para el sector mueblero de Misantla, Ver., adicionalmente se realizaron entrevistas con los productores más fuertes de la región y finalmente se plantea un manejo sustentable de los recursos que se utilizan en el proceso productivo de la industria del mueble en esta región .

2. Desarrollo

En la actualidad el sector mueblero de la región de Misantla presenta dificultades en la articulación de su cadena productiva y en la comercialización de sus productos, las empresas del sector no pueden competir solamente con la calidad de su producto y su tecnología productiva, sino que deben sustentar sus ventajas competitivas sobre nuevos modelos de gestión del negocio orientados hacia la satisfacción de las necesidades de los clientes (Boronat et al. 2005) y hacia la sustentabilidad.

El cuestionario permitió que se estudiara la cadena productiva de muebles y se encontró que es recurrente en las empresas del este sector de la madera presentar problemas en su cadena productiva, ya que estas empresas no cuentan con instrumentos para el control y el seguimiento de sus métodos de producción, donde algunos aún son manuales y complicados, en dicho instrumento también se evidenció también que respecto a la producción las personas encargadas de ella conocen bien su labor, pero no cuentan con procedimientos estandarizados ni documentados para la optimización de los procesos, además es evidente la falta de integración entre empresas de la región y finalmente referente a la elaboración de los productos al tratarse de empresas en su mayoría pequeñas y que cuentan con tecnología antigua en sus procesos productivos, no obstante, son muy bien reconocidas en el sector gracias a la calidad y oportunidad de entrega de sus productos, por lo que es necesario mejorar su competitividad y sustentabilidad a través de la gestión tecnológica y para eso se propone la utilización de la metodología TQM (Total Quality Managment).

En la Cd. De Misantla, Ver. existen 645 talleres registrados dedicados a la industria del mueble y de éstos aproximadamente 400 talleres se encuentran en la informalidad, de acuerdo con la búsqueda de información acerca del sector dentro de la región, este trabajo tuvo la finalidad el fin de brindarle una propuesta de mejora continua de la calidad a los productores de muebles de la región de Misantla, que les permita acceder a más posibilidades de competencia a las empresas que se dedican a la fabricación de muebles de madera en la zona, ya que a través de la elaboración de un diagnóstico, y de la utilización de la Ingeniería Industrial se pueden mejorar los procesos de producción que se están llevando a cabo en las empresas de la región, y eso se traduce en empresas más competitivas, mayores ventas y aumento de la calidad de vida de quienes participan en la fabricación de los muebles y una producción sustentable de muebles.

Se propone también aplicar un modelo de sustentabilidad para la cadena productiva del sector dedicado a la elaboración de Muebles en la región de Misantla, ya que permite introducir mejoras en las empresas y sus

procesos y su relación con el medio ambiente, da lugar a una integración entre empresas y a la reorganización de los procesos, que se traduce en éxito comercial, y en consecuencia se garantiza la sostenibilidad de la empresa (Perozo & Nava, 2005), lo cual ayudará a reforzar y activar la economía de este sector tan importante de la región, del que dependen muchas familias en el municipio y la región, sin comprometer el ecosistema.

El modelo actual y vigente de producción y consumo de bienes y servicios, ha ocasionado en los últimos años una serie de problemas medioambientales con una repercusión directa sobre la economía y la sociedad causados por un aumento en la generación de residuos, emisiones atmosféricas y desechos vertidos, así como un consumo excesivo de recursos naturales que está causando la degradación de los ecosistemas naturales (Pusavec et. al., 2010). Este contexto, unido a la situación hace necesario que las empresas avancen hacia modelos de negocio más sustentables que les permitan hacer frente a estas nuevas condiciones y adaptarse a los actuales cambios en las leyes y nuevas tendencias económicas y de mercado.

Aunque estos cambios pueden suponer un esfuerzo para las empresas, ya que requiere en muchos casos cambios en el producto y en el proceso productivo (Pusavec et. al., 2010), un avance hacia modelos de desarrollo más sostenibles es una oportunidad para las empresas para estimular su innovación, crear nuevas perspectivas económicas y mejorar su competitividad, además de mejorar su comportamiento ambiental. Es por ello que innovar de forma sostenible emerge como una opción estratégica para mejorar la competitividad en la industria dedicada a la producción de muebles de madera en Misantla (Nidumolu & Rangawami, 2009).

Ahora bien, una economía sustentable se caracteriza por el uso de productos altamente calificados, la reutilización de productos secundarios y la minimización de residuos. La transición hacia una industria del mueble sustentable y de calidad es la prevención del uso desmedido de la madera de la región de Misantla para dar lugar a un uso más eficiente de los recursos y la energía. Además de la implementación de nueva tecnología ya que forma la base de las competencias básicas, los nuevos procesos de producción y productos.

La industria del mueble tiene una fuerte tradición familiar en la ciudad de Misantla, con mucha resistencia al cambio y estilo predominantemente artesanal, sin embargo para mantenerse en el mercado nacional y estar en condiciones de competir internacionalmente, debe adaptar sus procesos a partir de la apertura comercial, donde la fuerte competencia con los muebles importados provoca que las empresas utilicen sus capacidades instaladas en menor medida y que unido a la caída del mercado doméstico, obliga a que un número mayor de empresas se introduzcan en los mercados internacionales (Lozano, 2011, Vega & Flores, 2011) podemos decir entonces que la industria del mueble en México se caracteriza por mantener diversas estructuras productivas :

1. El área donde comercializan la mayor parte de sus productos las empresas es el mercado local.
2. La industria de la madera y mueble está conformada en su mayoría por pequeñas y medianas empresas.
3. En el mercado local se produce un cambio en las preferencias de los productos.
4. Existe competencia local, nacional y se incrementa por los productos importados.

En los siguientes párrafos se describirá el proceso estándar de elaboración de muebles que se lleva a cabo de manera regular en los talleres de la región, esta deriva de las entrevistas con los productores, en donde se les solicitó describir su proceso de elaboración de muebles.

1. Diseño del mueble y prototipos.

Se define como una etapa previa en el proceso productivo en la que se establece el diseño del mueble y se elaboran los prototipos de éste, el diseño lleva el desarrollo de una idea por parte del diseñador o del cliente. Esta idea toma forma en dibujos de distintos modelos y variaciones de ellos, en la confección de los planos de su despiece y en los prototipos. El diseño consiste en definir tanto la estética, las dimensiones, como la forma en la que se va a ejecutar el mueble.

2. Recepción y almacenamiento de materias primas.

El proceso se inicia con la recepción de la materia prima, principalmente madera, tablas y derivados de madera, v barnices, tintes, disolventes orgánicos, material abrasivo (lijas, esponjas, etc.), colas, herrajes y material de embalaje. Tras comprobar su buen estado, se almacena en las distintas zonas específicas, en función de su naturaleza y del uso que se vaya a hacer de ella. Se pueden encontrar los siguientes almacenes: Almacén de madera maciza o en pieza, almacén de tablas y derivados de madera, almacén de adhesivos, almacén de productos inflamables (barnices, tintes, disolventes, etc.), almacén de montaje (herrajes, etc.), almacén de material de embalaje.

3. Aserrado, alisado y mecanizado de madera y tableros

Mecanizado de la madera: El mecanizado de la madera maciza permite obtener piezas y/o tableros de unas dimensiones y formas preestablecidas para la fabricación de muebles. Generalmente, el mecanizado de la madera maciza requiere de operaciones como el marcaje, tronzado, aserrado, cepillado, corte a medida, fresado, taladrado, espigado, torneado, etc.

A continuación, se describen las operaciones que se realizan con mayor frecuencia.

Marcaje: El marcaje consiste en señalar los defectos e imperfecciones de la superficie de la madera que va a ser procesada. Se realiza sobre las tablas de madera maciza secas, procedentes del aserrado del tronco, que suelen realizar las empresas de primera transformación. Estos tablones se suministran según unos espesores normalizados de 22 mm, 28 mm, 32 mm, 38 mm, 45 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, etc. La elección del espesor del tablón dependerá del grueso de la pieza o piezas que se quieren obtener, siempre con cierta sobredimensión porque durante el proceso de fabricación se pierde grosor, debido a los diversos mecanizados a los que es sometido.

Así, por ejemplo, se pueden obtener dos piezas rectas de 20 mm de espesor a partir de un tablero de 50 mm. dado que esta materia prima es costosa, el objetivo de este proceso es aprovechar al máximo la madera, saneándola de nudos y grietas.

Troceado: El troceado es un proceso por el que se ajusta la longitud del tablón o tabla bruta, procedente generalmente de alguna empresa de primera transformación, mediante un corte transversal al eje longitudinal del tablón y a la malla de la madera. La longitud del troceado se realiza según la dimensión mayor de las piezas que en los posteriores mecanizados se vayan a obtener.

Aserrado: El proceso de aserrado es una operación de corte en sentido longitudinal y su misión principal es la de dar hilos, es decir, listones de ancho próximo al de la pieza a fabricar, según marcaje previo. Dependiendo del número de piezas a mecanizar o las necesidades de la producción, este proceso tiene lugar después del troceado o bien después del cepillado y regresado.

Cepillado: Se llama cepillar a aplanar una superficie, mediante una herramienta de corte, con el fin de obtener una superficie completamente lisa, se consigue una cara plana de cada uno de los listones obtenidos. En algunos casos, con referencia a esa misma cara, se aplanan o cepilla otra cara perpendicular a la anterior. En el caso de piezas procedentes del troceado se aplanan una cara, sobre la que se va a asentar la pieza y sobre la que se realizará posteriormente el regresado, obteniendo así dos caras planas paralelas según el espesor deseado.

Regresado: Una vez cepillada y por tanto alisada una cara (y un canto si el proceso lo requiere), la pieza se lleva a la regresadora, cuya misión es aplanar, con respecto a la cara o caras cepilladas, la cara o caras restantes, dimensionando además el grueso, el ancho o ambos a las medidas correctas. Las piezas que se pasan por la regresadora tienen que estar muy bien cepilladas, ya que los dispositivos de avance y de presión de la máquina las comprimen fuertemente bajo el árbol que porta cuchillas contra la mesa, de manera que si existieran irregularidades en la parte inferior, también aparecerían en la parte superior regresada, el regresado consiste en el aplanamiento de la parte superior de la pieza tomando como referencia la parte plana inferior.

Corte a medida: Se trata de una operación de corte en la que se obtienen las dimensiones exactas, ya sean de longitud, de ancho o según la figura que se desee obtener. Depende, en cada caso, de la pieza que se quiere cortar. Si se parte de piezas cepilladas y regresadas, dimensionadas en espesor y/o anchura, el corte longitudinal dimensiona la pieza también en longitud obteniendo, así pues, la pieza a medida.

Moldurado y Fresado: Se trata de operaciones de mecanizado en las superficies de las piezas, mediante una herramienta de corte, para realzar o mejorar su estética y presencia visual. Fresado es la denominación general de este tipo de operaciones, mientras moldurado se suele emplear cuando se realizan mecanizados con relieve. Se llama replantillado en aquellos casos en los que se utiliza una plantilla para obtener una pieza mediante fresado. Hay una gran diversidad de procesos que se pueden llevar a cabo dependiendo del tipo de figura que se quiera conseguir. Para ello se necesita un tipo de fresa y dispositivo diferente en cada caso. Los mecanizados más importantes que se realizan son: contornear piezas curvas sin plantilla, dar forma apropiada a piezas rectas, recaladas, rayado, etc.

Taladrado y Escopleado: Son procesos de trabajo con arranque de viruta que se realizan en las caras y cantos de las piezas con la ayuda de una herramienta (broca o fresa) que ejecuta, mediante un movimiento de rotación y/o traslación, un orificio cilíndrico o alargado. De forma general se denomina taladrado al mecanizado de agujeros cilíndricos, mientras que escopleado se refiere al mecanizado de agujeros alargados o corridos. Los taladros o escoplos se utilizan generalmente con el fin de insertar los mechones (clavijas) para el encolado o bien para el posterior acoplamiento de elementos de ensamblaje, soportes, etc.

Espigado y Mechonado: Son procesos de trabajo con arranque de viruta, realizados normalmente en los extremos de las piezas, a través de la acción de una fresa que mecaniza espigas mediante un movimiento de rotación y traslación del cabezal. Los mechones o clavijas, también llamados falsas espigas, son elementos cilíndricos con medidas entre 20 mm y 60 mm de largo, siendo los diámetros más habituales 6 mm, 8 mm y 10 mm, que se encajan en los agujeros de las piezas que van a unirse. Se suministran según unas medidas normalizadas.

Torneado: El torneado es el proceso que se realiza para dar forma redondeada a una pieza, dando como resultado una sección circular de forma homogénea o bien de forma variable. El mecanizado se basa en el giro de la pieza a gran velocidad mientras una herramienta de corte se mueve en sentido longitudinal. Así, según la

figura deseada, se realiza un mecanizado circular en la superficie de la pieza. Para la fabricación en serie de piezas torneadas se parte inicialmente de la elaboración de una pieza muestra o plantilla, la cual se elabora manualmente utilizando determinadas herramientas y técnicas según el tipo de pieza a obtener. Este procedimiento es meramente artesanal, por lo que requiere práctica en cuanto a las técnicas de elaboración.

Tallado: El tallado es un proceso artesanal que consiste en la obtención de figuras y motivos a partir de piezas de madera maciza o en, según el tipo de pieza que se quiere obtener, se puede dividir el tallado en tres tipos diferentes

Grabado: Consiste en la obtención de una talla incisa mediante el corte de un motivo previamente dibujado en la madera. Sólo se realizan cortes en la superficie de la madera siguiendo las líneas del dibujo.

Talla en altorrelieve: En este tipo de talla la madera se rebaja dejando el motivo dibujado de forma sobresaliente.

Talla exenta: Es la más difícil, obteniéndose figuras de diversos motivos (humanas, animales, etc.). Se tallan todas las caras de la madera sin ningún fondo. En las dos anteriores se mantiene al menos la cara trasera sin tallar, que puede servir de apoyo.

Mecanizado de tableros: El mecanizado de los tableros derivados de madera permite obtener piezas de unas dimensiones y formas para la fabricación de muebles. Generalmente, el mecanizado de los tableros requiere de operaciones como el despiece y corte a medida, macizado de cantos, aplacado de cantos, fresado, taladrado, etc. A continuación, se describen las operaciones que se realizan con mayor frecuencia.

Corte a Medida: De forma genérica, el corte es la primera operación de mecanizado de los tableros. La finalidad última no es otra que la obtención de piezas “a medida”, o lo que es lo mismo, la obtención de tableros con dimensiones

previamente especificadas. Normalmente, los tableros se sirven con unas medidas normalizadas de ancho, largo y espesor. Las medidas más habituales son:

- Largo y ancho: 2,44 m x 1,22 m, 2 m x 1 m y 3,66 m x 1,88 m, siendo el primero el más ampliamente utilizado.
- Espesor: 10 mm, 16 mm, 19 mm, 22 mm y 25 mm, siendo los espesores de 16 mm y 19 mm los más empleados.

Moldurado y Fresado: Se trata de operaciones de mecanizado en las superficies o en los cantos de las piezas de tablero, mediante una herramienta de corte, para darle una funcionalidad concreta o bien para realzar o mejorar su estética y presencia visual. Fresado es la denominación general de este tipo de mecanizados, mientras moldurado se suele emplear cuando se realizan mecanizados con relieve. Se llama replantillado en aquellos casos en los que se utiliza una plantilla para obtener una pieza mediante fresado. Estas operaciones de fresado tienen diversas particularidades según se realicen en el canto o en la superficie del tablero.

El mecanizado de bordes comprende las operaciones realizadas con objeto de modificar la geometría del borde, así como las que se realizan cercanas al borde, ya que la operatoria y las máquinas son las mismas. El mecanizado de superficies incluye todas aquellas operaciones de fresado realizadas sobre las caras de la pieza, generalmente para realzar o mejorar la estética y presencia visual de las piezas. En particular, se realiza esta operación para obtener un relieve o figura sobre una superficie, efectuar un vaciado en una pieza (marcos o plafones) y obtener una superficie con los bordes moldurados.

Taladrado: El taladrado es un mecanizado que se realiza en las caras y cantos de las piezas, mediante la acción de una broca o barrena que gira y se desplaza penetrando en el tablero, para practicar orificios cilíndricos. Su función es la inserción de mechones o el acoplamiento de distintos elementos en los orificios practicados (taladros) sobre la pieza, ayudado o no de un encolado de la zona de unión. De forma general, se denomina taladrado al mecanizado de agujeros cilíndricos, mientras que escopleado se refiere al mecanizado de agujeros alargados o corridos.

Pre pegado: Posteriormente las piezas se pre pegan entre sí, utilizando normalmente pegamento blanco (de acetato de polivinilo). Después del pre pegado algunas piezas se someten a un segundo mecanizado, por ejemplo, para la fabricación de armarios y muebles en general.

Montaje, incluyendo pegado: El siguiente proceso sería el montaje, donde se encolan, ensamblan y ajustan las distintas piezas en crudo que van a formar parte del mueble. Se utilizan herrajes y/o mechones, así como pegamento blanco en algunos casos.

Barnizado (acabado): Este proceso consiste en la aplicación de los productos necesarios sobre los soportes, por ejemplo, tintes para conseguir algún tono en específico para la madera, así como barnices y pinturas para proteger la madera y obtener el aspecto deseado, estos se aplican mediante pistolas o rodillo, según el tipo de pieza a elaborar. El acabado, en general, se considera el proceso que incluye tintado, secado, barnizado (fondo), secado, lijado intermedio, barnizado final (acabado propiamente dicho) y secado. Habitualmente, una vez montado el mueble o subconjunto del mueble, y siempre que el diseño lo requiera, se procede al tintado. Su función básica es la de conseguir que la madera sobre la que se aplica adquiera un color determinado, conservando la textura, aspecto y dibujo de las vetas y poros. Los productos utilizados para este proceso son

los tintes. Una vez la madera adquiere el tono deseado, se procede a aplicar las sucesivas capas de productos de acabado. La finalidad de estos productos es doble, por una parte, se trata de proteger la superficie del mueble y darle un brillo adecuado, y por otra, embellecer y obtener un aspecto externo final decorativo. Hay una serie de productos, llamados acabados decorativos, que se emplean, sobre todo, en el acabado de muebles de estilo clásico y que se elaboran mucho en la región de Misantla, pero con una función exclusivamente decorativa.

Masillado: Esta operación se realiza, sobre todo, cuando se trata de mueble clásico a poro cerrado, como paso previo a la aplicación del fondo a la pieza. Se recubre la pieza con un producto para cerrar el poro de la madera y las juntas de las diversas chapas que componen la superficie del mueble.

Fondeado: El fin primordial del fondo es proporcionar espesor y nivelar las irregularidades de la superficie, así como dar características mecánicas.

Lijado intermedio: La aplicación del fondo finaliza, tras su secado, con un buen lijado de la superficie, para que las siguientes capas de productos de acabado se adhieran mejor al soporte.

Glaseado: Esta operación se realiza sobre todo cuando se trata de mueble clásico. Consiste en aplicar un tinte graso de secado lento, fácil de limpiar, dejando más material en donde convenga por motivos decorativos, dando un efecto de realce y consiguiendo un aspecto antiguo. El patinado es un proceso similar, pero con productos de secado más rápido.

Climado: Esta operación se realiza, sobre todo, cuando se trata de mueble clásico. Consiste en un lijado fino con lana de acero para obtener una degradación del color del tinte.

Entonado: Esta operación se realiza, sobre todo, cuando se trata de mueble clásico. Consistente en igualar el tono del color de la madera del mueble.

Acabado: La aplicación del acabado tiene como función proporcionar el aspecto final de tacto, brillo, color, etc. y se aplica en último lugar, tras los sucesivos tratamientos. El proceso de barnizado descrito es uno de los más comunes entre una amplia variedad de posibilidades.

Montaje de acabados: Cuando el mueble o piezas están secas, después de aplicar tantas capas de recubrimiento como sea necesario, se realiza el montaje de acabado. En este proceso se encolan, ensamblan y ajustan las distintas piezas acabadas que van a formar parte del mueble. Se utilizan herrajes y/o mechones, así como pegamento blanco en algunos casos. Se suele aprovechar para realizar una inspección visual y comprobar la calidad del acabado.

Embalaje: Los muebles se embalan montados o por piezas dependiendo del volumen y peso del mueble montado. Si se tiene un volumen grande y/o un peso elevado, se embalan normalmente desmontados, si es posible, ya que de esta manera se facilita su manipulación y se reduce el riesgo de daños. Se utilizan, fundamentalmente, cajas de cartón, plástico-papel burbujas, cantoneras y perfiles.

3. Resultados

Para lograr la implantación de prácticas TQM en el sector mueblero de la región de Misantla se puede utilizar la escala que Chenhall (1997), que desarrolló siguiendo las aproximaciones de Skinner (1985) y mediante información recibida por los dueños de las empresas que se visitaron, en particular del taller del señor. Dicha escala se adaptará para este enfoque del sector mueblero incorporando pequeñas modificaciones en la redacción original de los ítems, para favorecer su total comprensión, y también se introduce un ítem adicional que nos permite comprobar el grado de compromiso del dueño de la empresa con la calidad, ya que, sin el entusiasmo activo desde arriba, la calidad no puede tener éxito. Para valorar los ítems se propuso utilizar una escala Likert de 7 puntos, donde 1=no está siendo implantada y 7=el grado de implantación es máximo.

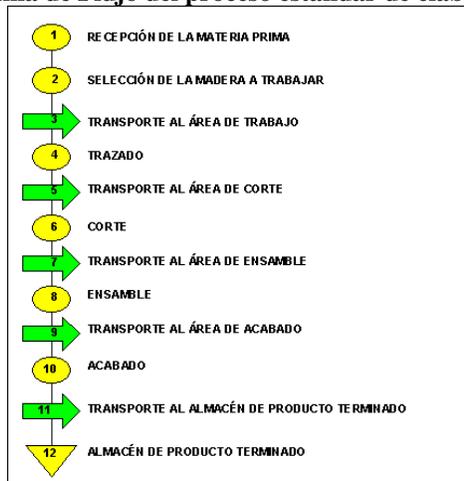
Tabla 1: Propuesta de medición de la implantación de prácticas TQM

Prácticas TQM (ítems)	Definición de los ítems
COOR	Coordinación del trabajo efectuado en todas las áreas de la empresa
CLI	Orientación al cliente
PLAN	Participación de todo el personal en el plan estratégico de la empresa
PER	Participación de empleados en los programas de mejora de la calidad
REDT	Programas para reducir tiempos de producción y/o desarrollo de productos
VA	Prácticas para reducir actividades que no añaden valor en el proceso productivo
DEF	Medidas para reducir productos defectuosos
PROV	Implicación de los proveedores con la calidad
DIR	Compromiso por parte del equipo directivo con la calidad

Se proponen prácticas TQM de manera general, ya que está demostrado que impactan positivamente sobre los resultados operativos y la rentabilidad económica. Por otra parte, el resto de aspectos TQM que se propone analizar bien podrían asimilarse a los requerimientos de la norma ISO 9000 dentro del mismo esquema de mejora continua ya que muestra una relación directa con los resultados operativos y la rentabilidad, y pueden también ser factores que impacten en estos resultados en un periodo de tiempo más largo, o mediante el efecto previo en la mejora de otras actividades (Marín, 2010).

Dentro de las mejoras que se pueden proponer al sector de elaboración de muebles de madera de la región de Misantla que le permitan elaborar su competitividad se propone en primer lugar que cada empresa conozca el diagrama de flujo de sus procesos que a continuación se describe de manera general pero que se adapta dependiendo del tipo de mueble que se va a elaborar, éste puede ser similar para otros productos, si el proceso productivo es homogéneo, o para variantes del mismo.

Figura 1. Diagrama de Flujo del proceso estándar de elaboración de muebles



Al respecto, se debe evaluar en cada caso la pertinencia de cada una de las actividades previstas, la naturaleza de la maquinaria y el equipo considerados, el tiempo y tipo de las operaciones a realizar y las formulaciones o composiciones diferentes que involucra cada producto o variante que se pretenda realizar.

Adicionalmente se propone que otra de las herramientas de calidad que se deben incorporar para cada una de las observaciones que se encontraron en el sector es el diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto es una de las herramientas clave para llevar a cabo la gestión eficaz de la calidad en la empresa, ya que da un tratamiento muy específico a las causas y efectos de las diversas situaciones por la que pasa la empresa, aquí el ejemplo del diagrama aplicable al nivel de resistencia de los productos.

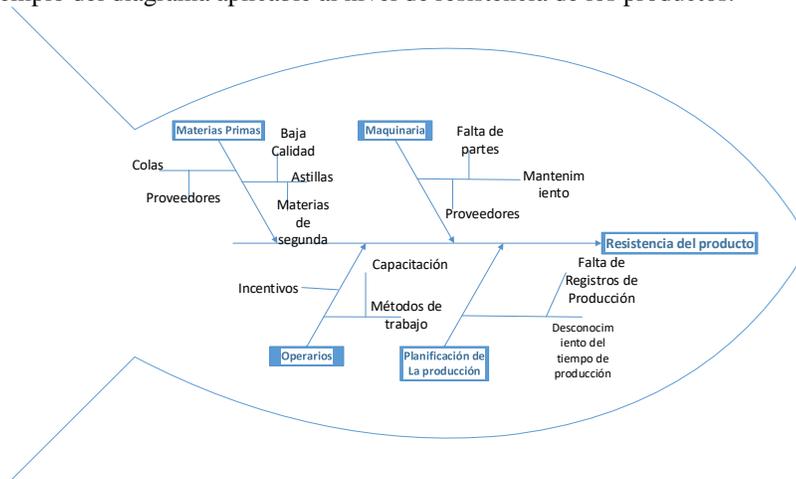


Figura 2. Diagrama de causa y efecto para la resistencia de un mueble de madera.

Finalmente, la industria del mueble ha sido ya estudiada sobre todo en países como España que tienen un importante sector productor de muebles de madera de exportación, también han aplicado las herramientas de calidad como el diagrama de Pareto que facilita el estudio de las fallas en las industrias o empresas

comerciales, así como fenómenos sociales o naturales psicosomáticos, que dan lugar a poner atención a áreas específicas donde se están ocurriendo fallas en las empresas, ya que el principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización, por lo que para la industria productora de muebles de la región de Misantla dentro de los principales defectos que se hallan están la tonalidad desigual de los productos y las patas desniveladas, esto habla de la necesidad de estandarización de los procesos productivos a fin de evitar estos defectos.

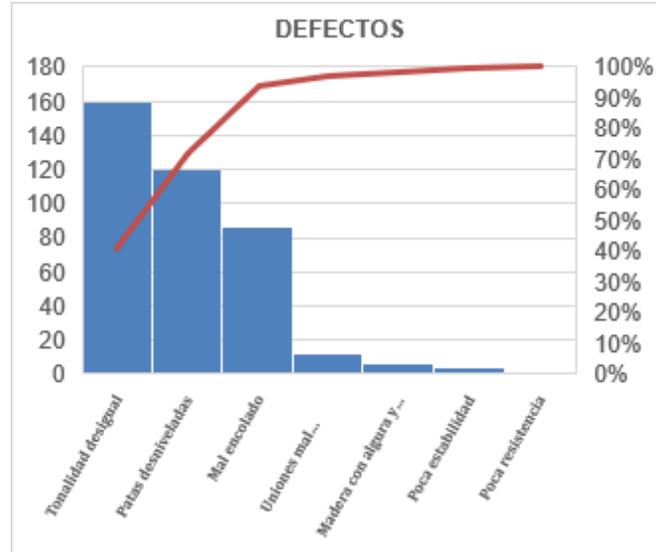


Figura 3. Análisis de Pareto para identificar los defectos

Para lograr la sustentabilidad y calidad de la industria del mueble en Misantla es necesaria la reconversión de su cadena productiva hacia una cadena sustentable, que permita ser responsable con el medio ambiente pero que no sacrifique el objetivo de las empresas de obtener utilidades y es posible lograrlo con la adaptación de un modelo de competitividad sustentable como el que aquí se propone, también de proponen los siguientes proyectos que son áreas de oportunidad para el sector.

Área de mejora	Proyectos identificados
Defectos en pintura	1.- Disminución de las devoluciones de productos por problemas en el acabado de la pintura. 2.- Disminución de las devoluciones de productos por presencia de manchas en la pintura.
Problemas de secado de la madera	3.- Disminución de las devoluciones de productos por madera rajada.
Problemas en el mercado	4.- Disminución de los reprocesos por mala colocación de herrajes. 5.- Disminución de las devoluciones de las recámaras por pegas abiertas en largueros, piceros y cabeceras de las camas. 6.- Disminución de las devoluciones de gavetas defectuosas.
Problemas en el embalaje de productos	7.- Disminución de las devoluciones de productos por presencia de rayones en la superficie

Tabla 2: Áreas de mejora y proyectos identificados.

4. Conclusiones

En la actualidad, la filosofía TQM (Total Quality Management) o Gestión de la Calidad Total hace referencia a un sistema de gestión que, más allá de la calidad de los productos y de los servicios, abarca a la gestión de toda la empresa. Dentro de esta filosofía, la calidad se ha convertido en una variable estratégica de control muy importante. Su significado ha evolucionado desde una concepción orientada al producto hacia un

enfoque más preventivo y estratégico, donde aspectos tales como la satisfacción de los clientes, de los empleados y de la sociedad en general, se han convertido en un especial foco de atención, por lo que el sector del mueble debe buscar elevar la capacidad de su fuerza trabajo, la eficiencia de sus procesos productivos, crear programas de comercialización que generen cadenas eficientes para lograr ventajas competitivas en mercado exigentes, por lo que a continuación se proponen las siguientes acciones de mejora destinadas a optimizar el consumo de recursos para ser más competitivos y otras a reducir la cantidad de residuos y emisiones generadas en el proceso de fabricación del mueble.

- Consumo de materias primas (principalmente madera): Utilización de madera procedente de bosques gestionados de forma sustentable y reutilización de los residuos de madera.
- Consumo de energía: Control del consumo energético en procesos productivos y control del caudal de los sistemas de aspiración.
- Uso de productos que contienen sustancias tóxicas y/o peligrosas (COVs, formaldehído, etc.): Utilización de pegamentos exentos de sustancias tóxicas, uso de barnices con bajo contenido en COV, reutilización de los disolventes usados como lavador de las pistolas, o uso de pistolas de pintado de mayor rendimiento para optimizar el consumo de disolventes, sustitución de los aceites lubricantes alternativos al PCB (policlorobifenilos), gestión adecuada de residuos peligrosos y reutilización del disolvente de limpieza

Finalmente, esta propuesta es una opción viable en el contexto actual de las empresas misantecas ya que puede abordarse a través de la línea de Investigación de Procesos Productivos de la Maestría en Ingeniería Industrial, generando una propuesta de estrategias que permiten aumentar la competitividad del sector, donde el empleo de recursos tecnológicos y de la ingeniería industrial será clave para la obtención de resultados en materia de mejoras a los procesos de producción.

Referencias.

- Boronat, J.M.; Navarro, J. E Iborra, J. (2005): “Análisis de la industria del mueble en España, un nuevo modelo de negocio como base de la innovación”, *Economía Industrial*, No. 355, pp. 317-334.
- Chenhall, R. H. (1997). Reliance on manufacturing performance measures, total quality management and organizational performance. *Management Accounting Research*, 8(2), 187-206.
- Cruz, J. (2017). Informe Sectorial económico de Misantla, Ver. Misantla: Ingeniantes.
- Jimenez, D. (2009). Crisis y sostenibilidad. Respuestas con futuro y oportunas en tiempos de crisis. *Ambienta*, vol. 88, pp. 73-88.
- Lozano, K. (2011). La cadena de valor de la industria del mueble en México. Problemas y perspectivas. In Centro Banamex (Ed.), *Ciclo de Conferencias de la Magna Exposición Mueblera* (p. 16). México: Departamento de Geografía y Ordenación territorial, CUCSCH.
- Vinuesa, L. M., & Zuera, J. G. (2010). La certificación ISO 9000 en el sector industrial del mueble: evidencias sobre la cultura de calidad total y las ventajas que la caracterizan. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 16(1), 77-101.
- Nidumolu, R., Prahalad, C. K., & Rangaswami, M. R. (2009). Why sustainability is now the key driver of innovation. *Harvard business review*, 87(9), 56-64.
- Perozo, E., & Nava, Á. (2005). El impacto de la gestión tecnológica en el contexto empresarial. *Revista Venezolana de Ciencias Sociales*, 1(1), 488-504.
- Pusavec, F., Kramar, D., Krajnik, P., & Kopac, J. (2010). Transitioning to sustainable production—part II: evaluation of sustainable machining technologies. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1211-1221.
- Skinner, W. (1985). *Manufacturing, the Formidable Competitive Weapon: The Formidable Competitive Weapon*. John Wiley & Sons Inc.
- Secretaría de Economía. (2015).
- Vega, A., & Flores, M. V. (2011). La industria del mueble y productos de madera. Un análisis sistémico de su situación competitiva en la región Tijuana-Rosarito B.C. México. (A. Vega & F. M. V., Eds.) (Primera.). México: Ediciones ILCSA S.A. de C.V.

Contribución al mejoramiento del llenado de bultos en una planta procesadora de alimentos balanceados

Félix Enrique Basilio Soto, Ing.¹, Ing. Ana Vianey Romero Hernández², Ing. Mayra Barrera Hernández³, Ing. Rolando Hernández Gómez⁴, Dra. Yodaira Borroto Pentón⁵.

Félix Enrique Basilio Soto, Ing, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, 192t0045@itsm.edu.mx

² El Ing. Ana Vianey Romero Hernández, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, 192t0059@itsm.edu.mx

³ El Ing. Mayra Barrera Hernández es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, 192t0044@itsm.edu.mx

⁴El Ing. Rolando Hernández Gómez es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, 192t0055@itsm.edu.mx.

⁵ La Dra. Yodaira Borroto Pentón, es Docente Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. yborrotop@itsm.edu.mx

Resumen— El presente trabajo muestra un análisis para contribuir al mejoramiento en el proceso de producción en el pesado de los bultos de alimento para ganado bovino y porcino, realizado en una empresa procesadora de alimentos balanceados. El análisis se llevó a cabo con el objetivo de verificar si el peso de los bultos de alimento producido cumple con las especificaciones de la normativa aplicable al proceso (NOM-002-SCFI-2012 Productos pre-envasados, contenido neto, tolerancias y métodos de verificación).

La operación de llenado de los bultos en presentaciones de 40 kg tiene diversos factores que influyen en el peso final de los bultos, de allí la importancia de verificar que se cumpla con las especificaciones para el proceso.

Al realizar el análisis de los datos para las diferentes variedades de alimento bovino y porcino se encuentra que, el alimento porcino de engorda está por encima de lo especificado por la norma, por el contrario, la variedad de becerro especial engorda y lechera 16% se encuentran por debajo de la especificación, teniendo así que las variedades porcino gestación, porcino crecimiento, porcino iniciador, becerro destete y lechera 18% cumplen con lo establecido en la NOM-002-SCFI-2012. En función de los resultados obtenidos se realizan recomendaciones para la mejora del proceso.

Palabra(s) clave— Alimento balanceado, análisis estadístico, inferencia estadística, muestreo estratificado, normatividad aplicable, productos pre-envasados.

Abstract— The present work shows an analysis to contribute to the improvement in the production process in the weighing of the food packages for cattle and pigs, carried out in a feed processing company. The analysis was carried out in order to verify if the weight of the packages of food produced complies with the specifications of the regulations applicable to the process (NOM-002-SCFI-2012 Pre-packaged products, net content, tolerances and methods of check).

The operation of filling the packages in presentations of 40 kg has several factors that influence the final weight of the packages, hence the importance of verifying that the specifications for the process are met.

When analyzing the data for the different varieties of bovine and pig food, it is found that, the fattening pig food is above that specified by the standard, on the contrary the variety of special fattening and dairy calf 16% are found below the specification, thus having the varieties gestation pig, growth pig, starter pig, weaning calf and dairy 18% comply with the provisions of NOM-002-SCFI-2012. Depending on the results obtained, recommendations are made to improve the process.

Key words— Balanced feed, statistical analysis, statistical inference, stratified sampling, applicable regulations, pre-packaged products.

1. Introducción

La producción de la carne de ganado porcino crece a nivel mundial, esto genera oportunidades para todos los que participan en la cadena. En la última década, el cárnico subió a una tasa promedio anual de 1.4% entre 2008 y 2017. Para el 2018, llegaría a 113.1 millones de toneladas, un avance de 1.8 % a tasa anual (Economista, 2018).

La producción de ganado bovino para el estado de Veracruz en el 2018 fue de 3, 474, 880 toneladas lo que se refleja en un valor de producción de 110,421.148 en miles de pesos (SIAP, 2018). México es el cuarto productor de alimentos balanceados en el mundo se estima una producción anual de 30.5 millones de toneladas (SADER, 2015).

El caso de estudio es una planta procesadora de alimentos balanceados, donde se producen nueve diferentes tipos de alimentos para ganado bovino y porcino. La producción de alimento presenta una distribución orientada al producto con adaptación de tolvas y mecanismos de transporte, creando así una red rudimentaria para trasladar la materia prima a diversas áreas de la planta procesadora de una manera más eficiente, disminuyendo el trabajo físico de los trabajadores. Los mecanismos de control son electromecánicos, operan mediante interruptores y relevadores en un tablero de control manual.

La estación que define el peso de los bultos de alimento es el envasado, el cual se lleva a cabo mediante tolvas dosificadoras las cuales son de operación manual; el operario con la mano derecha acciona una palanca que abre la compuerta permitiendo el paso del alimento por gravedad de la tolva al interior del saco, una vez que la aguja de la balanza indica que el bulto tiene el peso de 40 kg, se cierra la compuerta manualmente.

Una variabilidad del peso trae como consecuencia problemas de control de calidad y pérdidas económicas para la empresa (Calderon García). Es por ello que se tomó como objeto de estudio el peso de los bultos para comprobar que cumpla con los requerimientos de la NOM-002-SCFI-2012, en caso de no cumplir con lo estipulado en la norma, detectar los factores que influyen y con los resultados apoyar en la toma de decisiones para el mejoramiento del proceso de envasado de bultos. En la actualidad no se realiza control estadístico del proceso.

2. Desarrollo

Antes de iniciar la verificación del contenido neto se observaron los siguientes aspectos:

- Que el contenido neto del producto pre-ensado esté debidamente expresado en unidades que correspondan a las establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI vigente.
- Que los instrumentos de medición que se utilicen para verificar el contenido neto por cualquiera de los métodos, tengan certificado de calibración vigente.
- De acuerdo con las tablas 1 y 2, se obtiene el tamaño de la muestra correspondiente.
- Se extraen las unidades hasta completar el tamaño previsto. La extracción debe ser al azar.
- Determinar el contenido neto de cada unidad con una exactitud mínima equivalente al 10% del valor de la tolerancia que corresponda, siguiendo un método no destructivo

La verificación del contenido neto de productos pre-ensados se debe efectuar mediante muestreo aleatorio. Cada muestra estará compuesta por el número de unidades que se establece en la tabla 1, que describe el número de unidades de prueba para lotes mayores a 150 unidades.

Lote de productos	Muestra de prueba (Unidades)
De 150 a 500	13
De 501 a 1 200	20
De 1 201 a 10 000	32
De 10 001 a 35 000	50
De 35 001 a 500 000	80

Tabla 1.- Determinación del tamaño de Muestra

Para el muestreo de lotes menores de 150 unidades la NOM-002-SCFI-2012 establece que debe ser como indica la tabla 2.

Lote de productos	Muestra de prueba (Unidades)
Hasta 50	5

De 51 a 90	5
De 91 a 150	13

Tabla 2.- Tamaño de muestra para lotes menores a 150 unidades

Procedimiento para el análisis

La notación que interviene en el análisis estadístico es la siguiente:

T = Tolerancia que se aplica a los artículos individuales en %, o en unidades de masa o volumen.

CNd = Contenido neto declarado en la etiqueta.

\overline{CN} = Contenido neto promedio obtenido en la muestra.

$$\overline{CN} = \frac{CN_1 + CN_2 + CN_3 + \dots + CN_n}{n} \quad \text{Ecuación (1)}$$

n = Número de unidades de producto que componen la muestra;

s = Desviación estándar de los valores del contenido neto de los artículos que componen la muestra.

t = Valor del estadístico t (t de *Student*) a un nivel de confianza de 99,5% con $n-1$ grados de libertad obtenido de tablas;

tc = Valor del estadístico t (t de *Student*), obtenido de los valores de la muestra.

Criterios de aceptación

Se considera que el lote verificado por muestreo cumple con el contenido neto declarado, sólo si satisface los siguientes tres criterios establecidos.

Primer criterio

El contenido neto promedio de la muestra (\overline{CN}) debe ser:

$$\overline{CN} \geq CNd \quad \text{Ecuación (2)}$$

En donde $\overline{CN} = CNd$ dado que toda etiqueta del mismo producto declara el mismo contenido neto.

Segundo criterio

No debe encontrarse un número de unidades fuera de tolerancia mayor a las establecidas en la tabla 3.

Tercer criterio

Ninguna unidad de producto debe resultar con un contenido menor que:

$$CNd - 2T \quad \text{Ecuación (3)}$$

Tamaño de la muestra (Unidades de producto)	Unidades de producto fuera de la tolerancia
2	0
3	0
5	0
8	1
13	1
20	2
32	3
50	5
80	7
125	10

Tabla 3.- Número máximo de unidades permitidas fuera de tolerancia

Cuarto criterio

Cuando el promedio de la suma algebraica de los contenidos netos no cumpla con el criterio establecido en punto 1 de los criterios de aceptación, se procede a realizar la siguiente prueba, aceptando el lote por dicho criterio, si se satisface la siguiente condición (ecuaciones 4 y 5):

$$tc - t \qquad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

$$tc = \left| \frac{CNd - \bar{CN}}{s/\sqrt{n}} \right| \qquad \text{Ecuación (5)}$$

El valor de t se obtiene de la Tabla 4, este valor de t son los valores de probabilidad de la tabla t de *Student*.

N	t 0.995; n-1
2	9.92
3	5.84
5	4.03
8	3.35
13	3.01
20	2.84
32	2.73
50	2.67
80	2.64
125	2.61

Tabla 4.- Valores de “t” de *Student*

Si el valor de $tc > t$, el lote no cumple con el criterio en el punto 1.

Si el valor de $tc \leq t$ el lote cumple con el criterio del punto 1 y debe además cumplir los requisitos establecidos en los criterios 2 y 3.

Del análisis de los resultados, se puede deducir si un lote cumple con los tres criterios, con algunos de ellos o con ninguno.

Análisis del peso de los bultos de alimento bovino engorda especial.

A continuación, se presenta el análisis realizado a una de las 9 variedades de alimento como ejemplo del procedimiento que se llevó a cabo para cada tipo de alimento.

Para el cálculo de las variables que especifica la norma, se recurrió a un *software* estadístico y en la figura 1 se muestra resumen gráfico del proceso para el análisis del peso de los bultos de alimento de tipo bovino engorda especial. El resumen arroja la prueba de normalidad de *Anderson-Darling* con un valor de 0.23 y un valor de probabilidad asociado a dicho estadístico de 0.774, lo cual indica que el valor de probabilidad es mayor que el nivel de significancia ($p > \alpha$) y sugiere que los datos siguen una distribución normal.

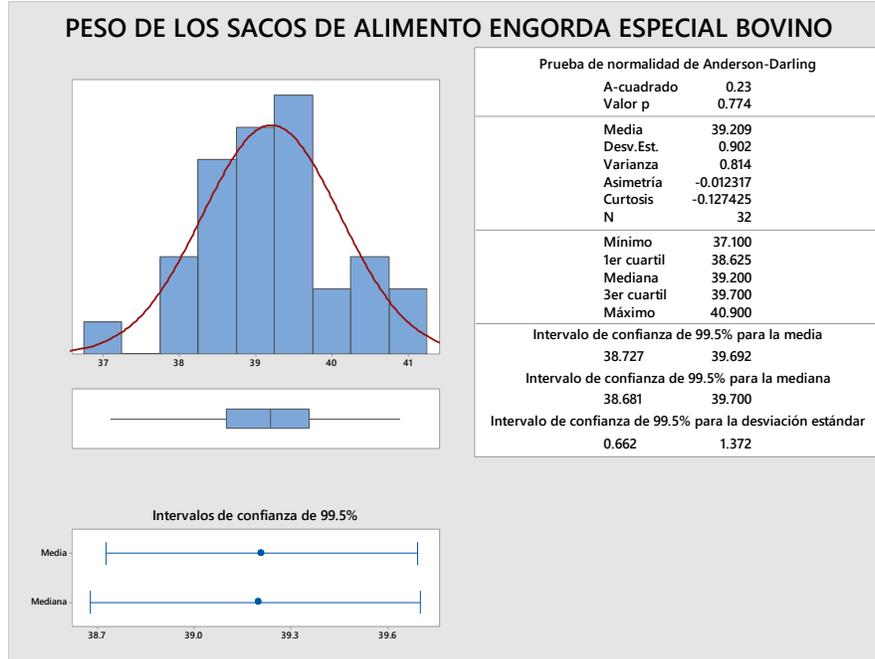


Figura 1.- Resumen gráfico de los bultos de alimento de tipo bovino engorda especial

Criterios para la toma de decisiones

Primer criterio: Del resumen grafico anterior se toma el valor de la media de 39.209 y se compara con el peso impreso en la etiqueta de los bultos para la presentación de alimento para bovino especial de engorda 40 kg.

Datos:

$$CNd = 40 \text{ kg}$$

$$\overline{CN} = 39.209$$

$$\overline{CN} \geq CNd \text{ (Criterio de la NOM 002 SCFI 2012)}$$

De lo anterior se deduce lo siguiente:

$$39.209 \text{ kg} < 40.0 \text{ kg}$$

Conclusión: El primer punto no se cumple dado que $\overline{CN} < CNd$

Segundo y tercer criterio: No debe encontrarse un número de unidades fuera de tolerancia mayor a 3 para una muestra de 32 unidades de producción, (segundo criterio). Así mismo, para el contenido neto en gramos de 15 000 a 50 000 el límite de tolerancia permitido es de 1%, lo que significa que al tener el bulto un contenido de 40 000 gramos, tiene una tolerancia de +400 gramos.

La normativa también prescribe que no deben de existir producto con un contenido menor que el 2% del contenido especificado en los bultos de alimento, que expresado en gramos serían 800 g (tercer criterio).

Los límites de tolerancia para el proceso de acuerdo a los criterios de aceptación son (39.20, 40.40). La tabla 5 muestra las celdas resaltadas de los valores que exceden los límites de tolerancia permitidos, de los cuales se observa que 18 muestras se encuentran fuera de norma, por lo que se concluye que no se cumple con el segundo criterio.

40.2	39.7	39.3	39.2	38	38.9	40.8	38.4
40.9	39.4	39.7	38.5	39.7	40.7	37.1	38.6
39.9	38.9	38.7	40.4	39.5	40.4	39.5	37.9
38.9	38.9	39.2	37.9	38.7	38.9	39.4	38.5

Tabla 5.- Valores de la muestra fuera de la tolerancia especificada por la norma



Valores que exceden el límite de tolerancia del +1% (segundo criterio)



Valores que exceden el límite de tolerancia del -2% (tercer criterio)

Tomando los valores que se tienen de la tabla 5 se puede realizar una prueba para una proporción para observar si el proceso cumple con las especificaciones, donde se hace el planteamiento de hipótesis a partir de lo que establece la normativa, donde la proporción hipotética tendrá un valor de 9.375% ya que, para una muestra de 32, solo se admiten 3 defectuosos (Tabla 3), quedando de la siguiente manera:

$$H_0: \overline{CN} = 9.375\%$$

$$H_1: \overline{CN} > 9.375\%$$

Realizadas la correspondiente prueba de proporciones
Resultados obtenidos en el *software*:

Prueba de $p = 0.09375$ vs. $p \neq 0.09375$

Muestra	X	N	Muestra p	IC de 99.5%	Valor p exacto
1	18	32	0.562500	(0.308383, 0.794952)	0.000

El valor p de 0.0 sugiere que los datos no son consistentes con la hipótesis nula ($H_0: p = 0.09375$), es decir, la proporción de los bultos defectuosos es mayor que la proporción requerida de 0.09375, por lo tanto con un nivel de confianza de 99.5%, existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa de que la proporción de bultos defectuosos es mayor que lo especificado por la norma.

Cuarto criterio: Dado que hasta el momento ningún criterio satisface con el análisis ejecutado, se procede a llevar a cabo la prueba t de *student*, aceptando que el proceso está dentro de la normativa si se satisface la siguiente condición: $tc \leq t$, (de acuerdo a la norma) o $p < \alpha$ (utilizando el *software*).

Planteamiento de hipótesis

H_0 : El peso promedio de los sacos (\overline{CN}) es igual que el peso impreso en la etiqueta CNd (40kg)

H_1 : El peso promedio de los sacos (\overline{CN}) es diferente que el peso impreso en la etiqueta CNd (40kg)

Resultados obtenidos:

Prueba de $\mu = 40$ vs. $\neq 40$

Variable	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 99.5%	T	P
PESO DE LOS BULTOS	32	39.209	0.902	0.160	(38.727, 39.692)	4.96	0.00

Para lo estipulado por la norma como criterio de aceptación $tc \leq t$, se tiene que; el t calculado ($tc = 4.96$) es mayor que $t = 2.73$ de la tabla 4 por lo tanto no cumple con el criterio de aceptación y esto a su vez se reafirma que el peso promedio de los sacos es diferente al peso mencionado en la etiqueta.

Conclusión sobre el peso de los bultos de alimento bovino engorda especial

El proceso de producción de alimento balanceado bovino especial de engorda está completamente fuera de los límites de tolerancia establecidos para el proceso mediante la NOM 002 SCFI-2012, por lo que se recomienda realizar los ajustes pertinentes.

3. Resultados

Las múltiples variables que intervienen en el proceso de llenado de los bultos no se controlan, lo cual conlleva a tener un proceso con deficiencias. Las presentaciones de alimento que incumplen con las especificaciones son los que tienen un mayor volumen de producción, lo cual, puede ser debido a que no se cuenta con un plan maestro de la producción y dicha condición hace que los operarios laboren bajo presión y en condiciones de estrés para completar los pedidos y disminuir los tiempos de espera del cliente.

Al realizar el análisis de los datos para las diferentes variedades de alimento bovino y porcino se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 5, donde indica que el alimento porcino lactancia y porcino engorda se encuentran por encima de la tolerancia especificada por la norma; mientras que para la variedad de becerro especial engorda y lechera 16% se encuentran por debajo de tolerancia; teniendo así que las variedades porcino gestación, porcino crecimiento, porcino iniciador, becerro destete y lechera 18% cumplen con las tolerancias establecidas por la NOM-002-SCFI-2012.

Tipo de alimento	Tamaño de la muestra	CNd (kg)	CN (kg)	Unidades fuera de tolerancia	Condiciones del proceso
Porcino lactancia	5	40	40.2	0	Normal
Porcino engorda	13	40	40.369	4	Excedido
Porcino gestación	5	40	39.980	0	Normal
Porcino crecimiento	20	40	40.155	0	Normal
Porcino iniciador	8	40	40.212	1	Normal
Becerro destete	13	40	39.938	2	Normal
Becerro esp. Engorda	32	40	39.209	17	Incompleto
Lechera 16%	32	40	39.631	1	Incompleto
Lechera 18%	13	40	39.9	0	Normal

Tabla 5.- Resultados, fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta gráficamente la variabilidad del peso de los bultos, en la figura 2 se muestra el diagrama de cajas creado con los datos del alimento para ganado porcino.

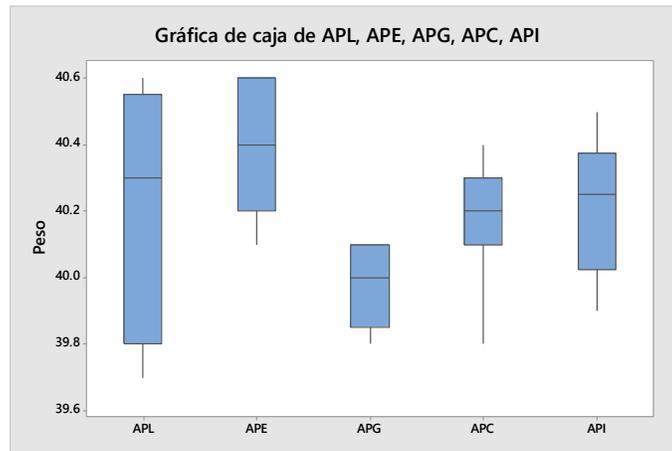


Figura 2.- Diagrama de cajas del peso de los bultos de ganado porcino

En la gráfica de caja y bigotes de los datos que miden el peso de los costales de los diversos alimentos fabricados para ganado porcino, no se encontraron valores atípicos y en cuanto al llenado de los bultos se observa que existe variabilidad entre las diferentes clases de alimento para ganado porcino.

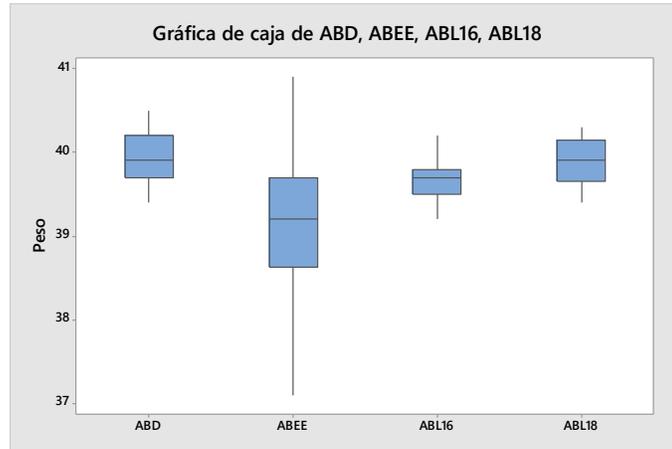


Figura 3.- Diagrama de cajas del peso de los bultos de ganado bovino

En la gráfica de caja y bigotes (figura 3) de los datos que miden el peso de los costales de los diversos productos fabricados para ganado bovino, no se encontraron valores atípicos y en cuanto al llenado de los bultos se observa que existe variabilidad entre las diferentes clases de alimento para ganado bovino.

4. Conclusiones

Se concluye que las muestras utilizadas para este análisis, fueron representativas del total de envasado de bultos; esto permitió inferir en la población total y utilizar los resultados obtenidos para la toma de decisiones en el mejoramiento del proceso estudiado.

Después de trabajar con las muestras obtenidas de manera aleatoria se pudo observar que: los resultados indican que tres de las variedades de alimento producido, se encuentran fuera de especificaciones, ya que en el alimento porcino engorda el contenido neto se encuentra excedido de los 40 kg que ofrecen dichas presentaciones, mientras que en las variedades becerro especial engorda y lechera 16% el contenido neto se encuentra por debajo de tolerancia.

Las variedades porcino lactancia, porcino gestación, porcino crecimiento, porcino iniciador, becerro destete y lechera 18% cumplen con las especificaciones de los criterios establecidas por la NOM-002-SCFI-2012.

Se observó que la incidencia obtenida tiene alta relación con el operador de la tolva al momento del llenado, por lo que se recomienda analizar esta variable en estudios posteriores.

5. Recomendaciones

Se recomienda hacer un plan periódico de calibración de la báscula dosificadora, supervisiones periódicas y mejorar la iluminación que permita que la herramienta visual utilizada sea más precisa.

Se recomienda la implementación de la norma NOM-002-SCFI-2012 para realizar el proceso de análisis estadístico del peso de los bultos de alimento en la planta procesadora de alimentos balanceados para minimizar pérdidas.

6. Referencias

- Calderon García, J. M. (s.f.). *Medición variabilidad de peso en los sacos de cementos algos -Plana Valle S.A.* Universidad Autonoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Canavos, G. C. (1998). *Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Metodos.* Mexico: Mc Graw Hill.
- Economista. (18 de 03 de 2018). *Porcicultura.* Obtenido de [tps://www.porcicultura.com/destacado/Para-2018-el-consumo-mundial-de-carne-de-cerdo-subiria-1.8%C2%AC-a-tasa-anual](https://www.porcicultura.com/destacado/Para-2018-el-consumo-mundial-de-carne-de-cerdo-subiria-1.8%C2%AC-a-tasa-anual)

- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México, DF: McGraw Hill.
- Jhonson, R. A. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. México: Pearson.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de Experimentos Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. México: Thomson Learning.
- Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. México: Pearson.
- Miller, I., & Freund, J. E. (1984). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. México DF: Reverté Mexicana S.A.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Mexico DF: Limusa Wely.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2003). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. México D.F: Limusa Wiley.
- SADER. (2015). *SADER*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura>
- SEGOB. (10 de 08 de 2012). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5263188&fecha=10/08/2012
- SIAP. (2018). *Gobierno de México*. Obtenido de La producción de la carne de ganado porcino crece a nivel mundial. Esto genera oportunidades para todos los que participan en esta cadena. En la última década, el cárnico subió a una tasa promedio anual de 1.4% entre 2008 y 2017. Para el 2018, llegaría a
- Siegel, S., & Castelan, N. J. (1988). *Estradística no parametrica*. Mexico DF: Trillas.
- Triola, M. F. (2009). *Estadística*. México: Pearson.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México: Pearson.

6. Notas Biográficas

La **Dra. Yodaira Borroto Pentón** es Dra. en Ciencias Técnicas, actualmente se desempeña como Docente investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

Base de conocimiento de prácticas agrícolas codificada en *Deep Learning* para la producción de Lima persa

Lidia Arely Díaz-Hernández¹, Carlos Alexis Cano-Villa², Roberto Ángel Meléndez-Armenta³, Eddy Sánchez-DelaCruz³, Gregorio Fernández-Lambert^{1*}.

¹ Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail: 182t0769@itsm.edu.mx, gfernandezl@itsm.edu.mx

² Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail: 142t0185@itsm.edu.mx

³ Maestría en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail: ramelendeza@itsm.edu.mx, esanchezd@itsm.edu.mx

Resumen— Presentamos la construcción de una base de conocimiento con datos de prácticas agrícolas y parámetros ambientales en el cultivo de Lima persa. La base de conocimiento fue procesada utilizando el software WEKA, y se encontró que, para validación cruzada con Percentage Split para 217 registros correspondiente a 66.66%, combinando los clasificadores *AttributeSelectedClassifier+Multiplayer*, la correlación resultante es de 99.65% de instancias correctamente clasificadas, con error medio absoluto de 895.79 kg, error absoluto relativo de 9.57%. Este resultado previo, genera confianza para futuras predicciones simulando escenarios de producción de Lima persa.

Palabra(s) clave— Selección de proveedor. Cadena de Suministro Alimentaria (CSA). Inteligencia Artificial. Red Neuronal Artificial.

Abstract— We present the construction of a knowledge-base with data of agricultural practices and environmental parameters in the cultivation of Persian Lima. The knowledge-base was processed using the WEKA software, and it was found that for cross-validation with Percentage Split for 217 records corresponding to 66.66%, combining the *AttributeSelectedClassifier + Multiplayer* classifiers, the resulting correlation is 99.65% of correctly classified instances, with mean absolute error of 895.79 kg, relative absolute error of 9.57%. This result generates confidence in future predictions for simulating production scenarios of Persian Lima.

Key words— Supplier selection. Food Supply Chain (FSC). Artificial Intelligence. Artificial Neural Network.

1. Introducción

La cadena de suministro implica personas, organizaciones, métodos los cuales interactúan en actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados, dentro de procesos con diversos intereses que en ella intervienen. En este sentido, la sincronización de los diversos agentes involucrados en la cadena de suministro requiere una planificación colaborativa con el fin de realizar un trabajo coordinado para satisfacer las exigencias de un mercado cada vez más competitivo. De aquí que, la sincronización de la cadena de suministros agroalimentaria es una tarea compleja que comprende acciones orientadas a lograr que los diferentes eslabones de las cadenas concurren en un esquema de trabajo armónico, con el objetivo común de lograr mejores ventajas y niveles de competitividad.

La gestión de la cadena de suministro de productos frescos (CSPF) se caracteriza por una incertidumbre en los requerimientos de su mercado y por una oferta en el volumen y la calidad de fruta de sus diversas fuentes de suministro, a saber: centrales de abasto y/o huertos agrícolas, dentro de las cuales, el factor perecedero y la estacionalidad de la fruta, hacen más compleja la búsqueda de la fruta fresca que atienda las necesidades del mercado. Este contexto de abastecimiento de fruta fresca incrementa la dificultad para encontrar productores-proveedores que satisfagan los requerimientos en volumen de fruta y calidad de la misma en el momento que así son requeridos, haciendo que la cadena agroalimentaria sea compleja en predecir y controlar.

Para atender la problemática de abastecimiento de fruta fresca, aunado a tener plantaciones propias, es característico que las empresas se apoyen en intermediarios, realicen compras de cosecha, y en otros casos, ubiquen centros de acopio en regiones productoras. Sin embargo, también es común que el productor agrícola tome la decisión de entregar al comprador del mejor postor.

La importancia de seleccionar al proveedor en la industria agroindustrial de frutos frescos radica en la relación como socios-miembros que asegure el abastecimiento de fruta fresca para mejorar la fluidez de los

materiales a partir de una sincronización de sus operaciones con los niveles de calidad y volúmenes de fruta que ingresen al proceso. Esta premisa, es un buen principio para la gestión de la calidad de las salidas.

La selección y evaluación de proveedores es un tema bastante reportado en la literatura científica en diferentes periodos y campos industriales (Saman y Jafar, 2009; Stević 2017); (Gaikwad y Sunnapwar 2019), sin embargo, para el campo agrícola toma mayor atención con el desarrollo de la inteligencia artificial con técnicas como la Lógica Difusa (Fernández et al., 2014), las Redes Neuronales Artificiales (Chun y Ou-Yang, 2009), y técnicas integradas como sistemas de apoyo a la decisión y sistemas expertos (Sung y Krishnan, 2008;). Estos avances están enmarcados en la primera década por una fuerte literatura de modelos matemáticos como apoyo a la selección de proveedores en diferentes sectores industriales (Hakan, 2006; Deshen, 2009) Esta muestra de trabajos describe el uso individual o integrado de técnicas considerando diversos criterios de decisión para el proceso de evaluación y selección de proveedores como se muestra en Sung y Krishnan (2008) y Stević (2017) que aportan criterios comúnmente utilizados para la selección de proveedores en empresas de transformación. Sin embargo, en cadenas alimentarias, los criterios son más específicos al problema que se atiende (Fernández et al., 2015).

El dinamismo improductivo del sector agrícola ha capturado la atención de académicos e industriales, en mayor grado, en los últimos veinte años para resolver problemas del campo agrícola utilizando técnicas de la Inteligencia Artificial. Este artículo, propone la construcción de una base de conocimiento relacionada con el suministro histórico de fruta fresca a una exportadora de Lima persa, con el objetivo evaluar la calidad de suministro de los diferentes proveedores en calidad de fruta exportable y calidad nacional.

2. Método

El abastecimiento de fruta lo determina el departamento de compras de la empresa exportadora. La fruta es solicitada a los diferentes proveedores de Lima persa, los cuales pueden ser proveedores de huertos propios, proveedores locales, proveedores regionales y proveedores foráneos. Posteriormente una persona experta evalúa visualmente la calidad de fruta, clasificándola en calidades descritas por la empresa. Una vez que la fruta fresca se encuentra en la empresa se realiza el proceso de selección, lavado, secado encerado y empaclado de Lima persa.

La Figura 1 describe el enfoque de análisis apoyado del software Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA)® V. 3.8 demo. Se dispone una base histórica de Lima persa de cada proveedor, con la cual se evalúa de acuerdo con la experiencia de un panel de expertos. La base histórica se conforma de 23 proveedores de Lima persa. Los valores históricos de proveeduría del año 2016 a 2019. Dicha información se procesa en WEKA, combinado clasificadores de dos enfoques distintos, para obtener la predicción de confiabilidad de cada proveedor; el resultado describe los kilogramos de fruta exportable.

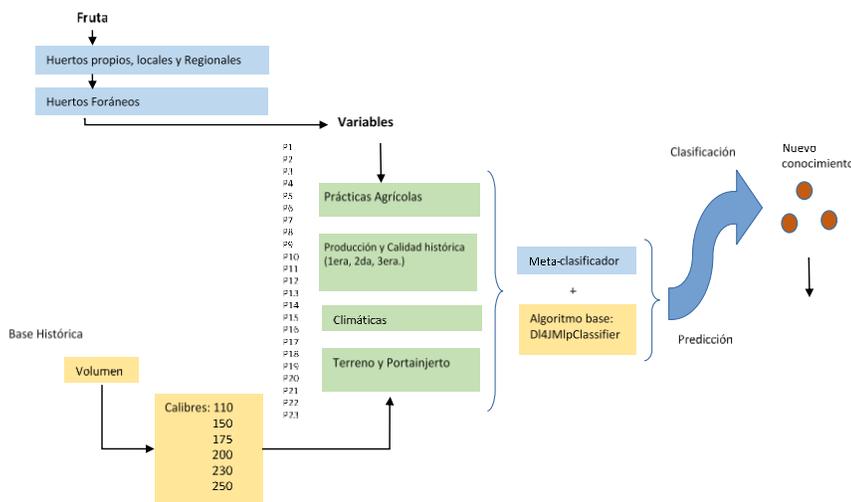


Figura 1: Enfoque de estudio basado en WEKA.

3. Resultados

La Tabla 1 describe una sección de la base de conocimiento generada a partir de la proveeduría histórica de 23 fuentes de proveeduría de Lima persa. Esta base de conocimiento tiene la característica de describir prácticas

agrícolas que dan origen a la fruta que se ingresa a la empresa: *Foliar, Nutriente, Herbicida*, entre otras relacionadas con el tipo de tierra en la que se encuentra el cultivo de la Lima persa, así como las condiciones climáticas prevalecientes durante el cultivo del cítrico. La base se construye como se describe en la Figura 2.

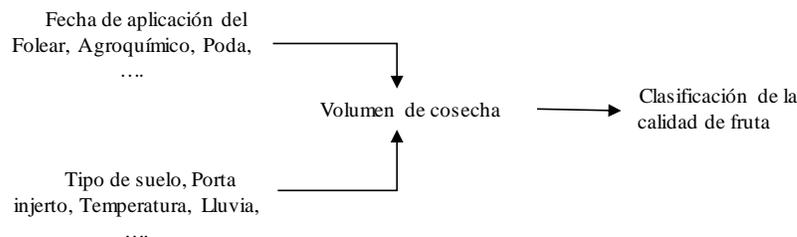


Figura 2: Integración del conocimiento en la base de datos WEKA® 3.8 demo.

Tabla 1: Corte de 19 registros de la base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica 2016-2019, que alimenta al Soft WEKA: Parte 1.

Registro	Fecha Semanal	Tipo de Suelo	Porta Injerto	Temporada	m.s.n.m	Edad Promedio	Arboles en producción	Tipo de Poda	Temperatura	Milímetros de Lluvia	Foliar(lt/ha)
1h2	SEM 11 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estresante	29	39	0
2h2	SEM 21 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estresante	33	50	400
3h2	SEM 22 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	32	47	400
4h2	SEM 23 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	30	206	0
5h2	SEM 24 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estresante	31	180	0
6h2	SEM 28 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	31	214	400
7h2	SEM 29 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	29	209	400
8h2	SEM 30 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	28	178	400
9h2	SEM 31 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	29	215	400
10h2	SEM 32 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	30	267	400
11h2	SEM 33 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	29	245	400
12h2	SEM 34 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	28	229	400
13h2	SEM 35 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	29	241	400
14h2	SEM 36 2016	Arenoso	Swingle	Alta	87	2	357	Estetica	28	255	400
15h2	SEM 37 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estetica	27	232	400
16h2	SEM 38 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estetica	29	222	400
17h2	SEM 39 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estetica	27	243	400
18h2	SEM 40 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estetica	27	211	400
19h2	SEM 41 2016	Arenoso	Swingle	baja	87	2	357	Estetica	28	178	400

Tabla 1: Corte de 19 registros de la base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica 2016-2019, que alimenta al Soft WEKA: Parte 2.

Nutriente (gr/árbol)	Herbicida (lt/ha)	Kg Cosecha	kg fruta exportable	C110	C150	C175	C200	C230	C250	kg fruta nacional
500	200	2478	1632	10	33	11	19	16	7	846
500	0	29891	26554	17	123	276	381	542	223	26554
500	0	32825	30600	4	86	300	578	731	101	2225
0	200	9120	7905	1	22	96	118	157	71	1215
0	200	45630	41497	2	939	302	519	537	142	4133
0	200	183396	144449	95	1894	2835	2234	1116	323	38947
0	200	30915	23885	6	201	448	505	209	36	7030
0	200	94947	47668	48	1182	677	643	227	27	47279
0	200	124896	80444	108	1449	1149	1121	519	386	44452
0	200	50067	35598	314	782	578	257	112	51	14469
0	200	11501	3944	0	92	78	47	11	4	11498
0	200	5480	4420	42	79	65	42	21	11	1060
0	200	30830	26095	283	530	380	182	111	49	30827
0	200	6228	5032	51	87	74	54	24	6	1196
0	200	4842	4250	31	67	75	45	19	13	592
0	200	4280	3570	6	44	63	52	38	7	710
0	200	5465	4335	8	57	70	67	38	15	1130
250	0	6347	5593	21	81	85	88	40	14	754
0	200	625	425	1	6	6	8	4	0	200

Variables de izquierda a derecha: Fecha Semanal, Tipo de Suelo, Porta Injerto, Temporada, m.s.n.m, Edad Promedio, Árboles en producción, Tipo de Poda, Temperatura, mm de lluvia, Foliar(lt/ha), Nutriente (gr/árbol), Herbicida (lt/ha), Kg Cosecha, kg fruta exportable, Calidades de fruta, Kg fruta nacional.

Esta base de conocimiento relacionada con la proveeduría histórica alimenta al programa WEKA. Para la clasificación se utilizan dos criterios de muestreo: la *Cross-Validation* con 10 carpetas (folds) y *Percentage Split* a 66.66%. El procesamiento de la información permitió clasificar, procesar, asociar y visualizar la base de datos histórica de proveedores con los criterios a analizar. La combinación de clasificadores fue de la siguiente manera: se seleccionó uno a uno cada clasificador ensamblado (en WEKA *meta-clasificador*) y cada uno se

combinó con una Red Neuronal Artificial Perceptrón Multicapa (en WEKA D14JMlpClassifier), para producir una exhaustiva búsqueda de patrones. Cada uno utiliza una meta algoritmo que aprende según las salidas de los clasificadores en los que se basa. En términos generales partiendo de los datos se construyen *n* clasificadores distintos. Las salidas de estos se usan como atributos de un nuevo clasificador. La Tabla 2 muestra los resultados, que se han distinguido con el Meta-clasificador Attribute *Selected Classifier Multiplayer Perceptron* con validación cruzada con *Percentage Split* de 99.65%, con error medio absoluto de 895.79 kg. Este error es comparado con el error reportado en la *expertix* de productores con 1300 kg a 1800 kg por hectárea cultivada.

Tabla 2: Reporte de validación WEKA.

meta clasificador	Función	validación cruzada 10 folds							validación cruzada Percentage Split 66.66%						
		Coefficiente de correlación	Error absoluto medio	Error cuadrático medio	Error absoluto relativo	Error relativo cuadrado	Número total de instancias	Clase ignorada instancias desconocida	Coefficiente de correlación	Error absoluto medio	Error cuadrático medio	Error absoluto relativo	Error relativo cuadrado	Número total de instancias	Clase ignorada instancias desconocida
AdaBoostM1	MultiLayerPerceptron														
additive Regression	MultiLayerPerceptron	0.3107	13404.3238	19243.5679	127.91%	125.37%	217	782	0.8279	4935.8958	7195.4315	52.71%	60.48%	77	257
Attribute Selected Classifier	MultiLayerPerceptron	0.9795	764.0138	3331.5389	7.29%	21.71%	217	782	0.9965	895.7917	1301.5116	9.57%	10.94%	77	257
Bagging	MultiLayerPerceptron	0.3978	9968.2024	14929.6458	95.12%	97.27%	217	782	0.9596	5192.7533	6394.3484	55.46%	53.75%	77	257
ClassificationViaRegression	MultiLayerPerceptron														
CostSensitiveClassifier	MultiLayerPerceptron														
CVParameterSelection	MultiLayerPerceptron	0.287	11758.5375	16789.1164	112.21%	109.38%	217	782	0.8807	4305.9518	5739.8265	45.98%	48.25%	77	257
FilteredClassifier	MultiLayerPerceptron														
IterativeClassifierOptimizer	MultiLayerPerceptron	0.0109	10747.0029	15671.9655	102.55%	102.10%	217	782	0.6327	11065.8363	16102.3721	118.18%	135.35%	77	257
LazyBoost	MultiLayerPerceptron														
MultiClassClassifier	MultiLayerPerceptron														
MultiClassClassifierUpdateable	MultiLayerPerceptron														
MultiScheme	MultiLayerPerceptron	-0.1667	10479.3247	15349.1492	100%	100%	217	782	0	9363.8379	11896.9918	100%	100%	77	257
RandComCommittee	MultiLayerPerceptron	0.2311	10670.795	15499.4553	101.83%	100.98%	217	782	0.8805	9124.686	11901.9961	97.45%	100.04%	77	257
RandOmizableFilteredClassifier	MultiLayerPerceptron	0.9329	1397.292	5686.3285	13.33%	37.05%	217	782	0.9953	966.3778	1292.9186	10.32%	10.87%	77	257
RandOmSubSpace	MultiLayerPerceptron	0.9254	5469.724	8376.5703	52.20%	54.57%	217	782	0.9799	3143.5456	4492.6859	33.57%	37.76%	77	257
RegressionByDiscretization	MultiLayerPerceptron	0.7618	5132.24	10187.6715	48.97%	66.37%	217	782	0.8242	5568.2282	8113.1214	59.47%	68.19%	77	257
Stacking	MultiLayerPerceptron	-0.0579	14925.4615	21195.169	142.43%	138.09%	217	782	0	8698.9213	11919.8064	92.90%	100.19%	77	257
Vote	MultiLayerPerceptron	-0.1667	10479.3247	15349.1492	100%	100%	217	782	0	9363.8379	11896.9918	100%	100%	77	257
WeightedInstancesHandlerWrapper	MultiLayerPerceptron	0.287	11758.5375	16789.1164	112.21%	109.38%	217	782	0.8807	4305.9518	5739.8265	45.98%	48.25%	77	257

Estos resultados proporcionan la confianza para simular escenarios con base al enfoque descrito en la Figura 1, de la siguiente forma: El sistema de apoyo a la decisión se alimenta de los valores-registros proporcionados por el citricultor relacionados con —variables de entrada— el Tipo de Suelo, Porta Injerto, Temporada de cosecha, los m.s.n.m en que se ubica el huerto, la Edad Promedio de los árboles en producción, el número de árboles en producción, el Tipo de Poda practicada al árbol, la Temperatura promedio prevaleciente en el periodo de cultivo, el promedio de los mm de lluvia durante el periodo de cultivo, los lt/ha de Foliar utilizados en el periodo de cultivo, los gr/árbol de Nutriente aplicados a cada árbol, los lt/ha de Herbicida aplicados al huerto. Las variables de salida son los Kg Cosecha, los kg fruta exportable, Calidades de fruta, y los Kg fruta nacional.

4. Conclusiones

Se construye una base de conocimiento que registra las variables de: Fecha Semanal, Tipo de Suelo, Porta Injerto, Temporada, m.s.n.m, Edad Promedio, Árboles en producción, Tipo de Poda, Temperatura, mm de lluvia, Foliar(lt/ha), Nutriente (gr/árbol), Herbicida (lt/ha), Kg Cosecha, kg fruta exportable, Calidades de fruta, Kg fruta nacional, para el cultivo de Lima persa. El entrenamiento se realiza con el 66.6% de los datos con validación cruzada con Percentage Split. La correlación resulta en 99.65%, con error medio absoluto de 895.79 kg, error absoluto relativo de 9.57%.

Estos resultados de validación generan la confianza para predicciones en la simulación de escenarios de producción de Lima persa, bajo la actual base de conocimiento. El seguimiento a estos resultados es el diseño de un sistema de apoyo a la decisión para estimar la calidad de Lima persa en huertos de temporal.

5. Agradecimiento

Esta investigación es financiada por el proyecto TECN M Clave: 7165.19.P.

6. Referencias

- Chun Ching Lee, y C. Ou-Yang. (2009) A neural networks approach for forecasting the supplier's bid prices in supplier selection negotiation process, *Expert Systems with Applications*, 36, 2961-2970.
- Desheng Wu. (2009) "Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network", *Expert Systems with Applications*, 36. 9105–9112.
- Gaikwad, Lokpriya, and Vivek Sunnapwar. 2019. "Supplier Evaluation and Selection in Automobile Industry." *Industrial Engineering*, 1–12. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84383>.
- Hakan Kagnicioglu C. (2006) A fuzzy multiobjective programming approach for supplier selection in a supply chain, *The Business Review*, Cambridge, Vol. 6, Num. 1, 2006.
- Fernández L. G., Alberto A. A. Lasserre, Marco M. A., Constantino G. M. S., Blanca O. I. R., Catherine Azzaro-Pantel. (2014) An expert system for predicting orchard yield and fruit quality and its impact on the Persian lime supply chain, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 33, Pages 21-30, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2014.03.013>.
- Fernández L. G., Alberto A. L., Catherine Azzaro-Pantel, Marco A. M. A., Rubén P.V., María del Rosario P. S. (2015) Behavior patterns related to the agricultural practices in the production of Persian lime (*Citrus latifolia tanaka*) in the seasonal orchard, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 116, Pages 162-172, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.06.007>
- Saman, Hassanzadeh Amin. y Jafar Razmi. "An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation", *Expert Systems with Applications*, 36, 8639-8648, 2009.
- Stević, Željko. 2017. "Criteria for Supplier Selection: A Literature Review International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA) Criteria for Supplier Selection: A Literature Review." *International Journal of Engineering, Business and Enterprise Applications (IJEBEA)* 19 (1): 23–27.
- Sung Ho Ha and Ramayya Krishnan. (2008) A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain, *Expert Systems with Applications*, 34. 1303–1311.

Sistema de medición y adquisición de datos para una estación meteorológica alimentada con energía solar

Adriana Paulina Aranzolo Sánchez¹, Eleazar Campero Ángeles², PI. Jorge Alberto Azuara Jiménez³, PI. Jairo García Domínguez⁴, PI.

Adriana Paulina Aranzolo Sánchez, es de Ingeniería en Energías Renovables en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. E-mail: adrianapaulina1712@gmail.com

² El PI. Eleazar Campero Ángeles, es PI. de la División de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. E-mail: ecampero@iteshu.edu.mx

³ El PI. Jorge Alberto Azuara Jiménez, es PI. de la División de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. E-mail: jazuara@iteshu.edu.mx

⁴El PI. Jairo García Domínguez, es PI. de la División de Ingeniería en Energías Renovables del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. E-mail: jGarcía@iteshu.edu.mx

Resumen— Disponer de información meteorológica confiable y representativa de una zona contribuye al buen desarrollo y ejecución de proyectos de energías renovables, ya que en ellos las características de los recursos naturales renovables son de gran importancia. La medición y almacenamiento de los parámetros de algunas variables climatológicas pueden llevarse a cabo mediante la utilización de una estación meteorológica. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un sistema de medición y adquisición de datos para una estación meteorológica utilizando hardware y software libre para su implementación. La integración del sistema se lleva a cabo mediante la interconexión de componentes electrónicos, así como diversos sensores para obtener mediciones que puedan ser procesadas por una tarjeta de adquisición de datos cuya programación se lleva a cabo mediante software de uso libre, además de alimentar dicho sistema mediante energía solar fotovoltaica. Como resultados se tienen: un dispositivo capaz de monitorear y registrar variables climatológicas tales como: temperatura, humedad relativa y radiación solar, los registros se almacenan en una base de datos que puede utilizarse para la formulación de proyectos de energía solar fotovoltaica y eólica. Las ventajas principales de este sistema son su arquitectura modular y su adaptabilidad a diferentes plataformas de visualización.

Palabra(s) clave— arduino, fuentes renovables, sensores, solar fotovoltaica, variables climatológicas.

Abstract— Having reliable and representative meteorological information of an area contributes to the good development and execution of renewable energy projects, since in them the characteristics of renewable natural resources are of great importance. The measurement and storage of the parameters of some weather variables can be carried out by using a weather station. The objective of this work is to develop a measurement and data acquisition system for a weather station using free hardware and software for its implementation. The system integration is carried out through the interconnection of electronic components, as well as various sensors to obtain measurements that can be processed by a data acquisition card whose programming is carried out through free-use software, in addition to feeding said system by means of photovoltaic solar energy. The results are: a device capable of monitoring and recording weather variables such as: temperature, relative humidity and solar radiation, the records are stored in a database that can be used for the formulation of photovoltaic and wind solar energy projects. The main advantages of this system are its modular architecture and its adaptability to different viewing platforms.

Key words— arduino, renewable sources, sensors, solar photovoltaic, climatological variables.

1. Introducción

La medición de variables meteorológicas ha crecido en importancia ya que la información suministrada por las estaciones es vital para monitorear el cambio climático, el comportamiento de las cuencas hidrográficas y en la determinación de recursos eólicos y solares (Ruiz et al. 2018).

De acuerdo a Pardo y Castellanos (2017), el registro permanente de variables climatológicas durante largos periodos de tiempo en zonas remotas, inhóspitas o de difícil acceso, aunado a no contar con la presencia de personal que se encargue de proporcionar datos con poco porcentaje de error, hace que aparezca la necesidad de automatizar las estaciones meteorológicas.

Para la implementación de estaciones meteorológicas, es necesario la utilización de diversos componentes, entre ellos sensores y microcontroladores. Serna et al. (2010) menciona que, los sensores imitan la capacidad de percepción de los seres humanos, por ello es cada vez más usual encontrarlos incorporados a cualquier área tecnológica. Los sensores son por tanto dispositivos electrónicos que nos permiten interactuar

con el entorno, de forma que nos proporcionan información de ciertas variables que nos rodean para poder procesarlas y así generar ordenes o activar procesos.

Los sensores electrónicos han ayudado a medir con mayor exactitud las magnitudes físicas; no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya que normalmente entregan señales muy pequeñas y es muy importante equilibrar sus características, con las del circuito que le permiten adquirir, acondicionar, procesar y actuar con las señales (Rodríguez et al. 2007). Los acondicionadores de señal son circuitos que convierten los parámetros eléctricos de salida de los sensores en una señal eléctrica (generalmente corriente, voltaje o frecuencia) que se puede medir fácilmente (Miguel y Bolado 2010).

En un sistema de medición es necesario adquirir la información que nos proporcionan los sensores (en forma de señales analógicas o digitales), procesarla, presentarla y en algunas ocasiones se requiere registrarla para un procesamiento posterior, las funciones antes mencionadas pueden ser llevadas a cabo por algún microcontrolador. Artero (2013) señala que un microcontrolador es un circuito integrado o “chip” (es decir, un dispositivo electrónico que integra en un solo encapsulado un gran número de componentes) que tiene la característica de poder ser programado para ejecutar una serie de instrucciones previamente definidas, es decir, un microcontrolador es un computador completo (aunque con prestaciones limitadas).

Arduino es una gama de circuitos electrónicos open source, basados la mayor parte en un microcontrolador del fabricante Atmel. Estos circuitos integran los componentes necesarios para permitir un uso rápido y sencillo del microcontrolador. Las tarjetas Arduino están equipadas con conectores estandarizados para conectar módulos compatibles, llamados shields que ofrecen extensiones de hardware permitiendo añadir funcionalidades originales a los proyectos (Goilav y Geoffrey, 2016). La plataforma Arduino se convierte en una herramienta poderosa para la solución de problemas, considerando que la programación de las placas electrónicas se realiza mediante software de uso libre. Arduino fue creado con el propósito de ser una plataforma extremadamente fácil de usar en comparación con otras, lo que hace ideal tanto para desarrolladores experimentados como para principiantes para la realización de proyectos (Pedrera, 2017).

Una de las dificultades de las estaciones meteorológicas se presenta cuando no existe disponibilidad de energía eléctrica para alimentar los componentes de la misma, situación que puede ser solventada con el uso de una fuente de energía renovable.

Las energías renovables ofrecen la posibilidad de generar electricidad y calor prácticamente sin emisiones, a bajos precios de operación y de manera sostenible. Junto con esto, cada país tiene un lógico interés en aprovechar sus recursos renovables locales (Grzesiak, 2016).

Los módulos fotovoltaicos son sistemas que permiten la captación de la luz emitida por el sol y su conversión directa en energía eléctrica (Saénz et al. 2013). En los últimos años los sistemas solares fotovoltaicos han tenido un auge en su utilización en zonas aisladas, industriales, agropecuarias e incluso urbanas, como respuesta a la problemática del abastecimiento energético mundial y como fuente de energía amigable con el medio ambiente (Figuerola et al. 2017).

Existen dos tipos de configuración de sistemas fotovoltaicos: interconectados y aislados o autónomos. Los sistemas solares fotovoltaicos aislados están diseñados a la medida. Este tipo de instalaciones tienen la particularidad de que su tamaño debe diseñarse para un consumo que, aunque normalmente puede estimarse, a veces es difícil predecir (Serrano, 2016). Pareja (2008) menciona que un sistema aislado se trata de un sistema autoabastecedor, ya que aprovecha la irradiación solar para generar la energía eléctrica en el suministro de una instalación aun cuando no esté disponible la luz solar, permitiendo almacenar la energía en baterías quienes determinan la autonomía del sistema.

Teniendo en cuenta, el elevado costo de los instrumentos de medición, y que en general este tipo de equipos se manufacturan en el extranjero representando un importante obstáculo para evaluar los recursos naturales (Vera et al. 2016), además de la dificultad para alimentar de energía las estaciones meteorológicas se pueden desarrollar sistemas de medición con materiales de bajo costo, alimentados con fuentes alternas de energía, que permitan almacenar y visualizar los datos medidos, y así llevar a cabo una evaluación rápida de variables climatológicas de interés para la implementación de proyectos de energías renovables.

2. Desarrollo

Para la medición y registro de las variables climatológicas se desarrolló la presente metodología basada en el uso de sensores de bajo costo e implementación de componentes electrónicos, que, al ser combinadas con tarjetas de adquisición de datos diseñadas para ser programadas mediante software libre, dan como resultado un poderoso sistema de medición y adquisición de datos que puede ser integrado en una estación meteorológica.

A continuación, se listan las etapas llevadas a cabo durante el desarrollo del presente trabajo.

Selección de sensores

Para llevar a cabo la medición de la temperatura y humedad relativa del ambiente, se eligió el sensor DHT22 que es un sensor digital de bajo costo calibrado desde fábrica y que presenta mejores características respecto al DHT11 (Algunos datos comparativos pueden verse en la tabla 1), tales como mejor resolución, mayor precisión y un empaque más robusto. El voltaje de alimentación del sensor oscila en un rango de 3-5 Volts de corriente continua.

Parámetro	DHT11	DHT22
Rango de medición de humedad	20-90 % HR	0-100 % HR
Precisión de humedad	+5 % HR	+2 % HR
Rango de medición de temperatura	0 hasta 50°C	-40 hasta 50°C
Precisión de temperatura	+/- 2 °C	+/- 0.5 °C

Tabla 1. Comparativa entre los sensores DHT11 Y DHT22. Elaboración propia.

La medición de la radiación solar se llevó a cabo mediante el uso de una celda solar de 7 V de salida. La cual fue caracterizada y calibrada con un solarímetro Solar Power Meter PCE-SPM1 obteniendo valores de intensidad de corriente respecto a radiación solar, para su posterior utilización como un sensor analógico de radiación solar.

La lectura de los valores entregados por los sensores se llevó a cabo mediante una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328 (ARDUINO UNO) misma que cuenta con 14 entradas/salidas digitales y 6 entradas analógicas, características suficientes para poder llevar a cabo la integración del sistema, mientras que los datos se almacenaron en un módulo SD card para arduino.

Código de programación

El código de programación para la lectura de sensores, procesamiento y almacenamiento de los valores medidos, se escribió en el IDE de arduino, utilizando como herramienta fundamental una computadora personal, finalmente el código se compiló y se descargó en la tarjeta ARDUINO UNO para verificar su correcto funcionamiento.

Integración del sistema

La integración del sistema consistió en interconectar los sensores en las entradas habilitadas para llevar a cabo la lectura de los mismos y asociarlos con la fecha y hora de un módulo de reloj de tiempo real. Posteriormente se realizó el procesamiento de la información y se guardaron los datos en forma de tabla en una memoria SD que puede ser leída fácilmente con algún editor de texto o una hoja de cálculo y de esta manera contar con bases de datos de variables climatológicas, como se muestra en la figura 1.

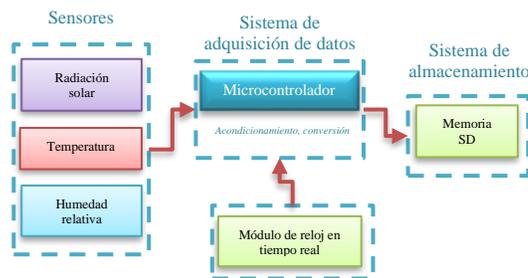


Figura 1. Sistema de medición de variables climatológicas. Elaboración propia.

Sistema de generación de energía

Se propuso un sistema de generación de energía renovable, la energía generada durante las horas de sol se almacena en la batería la cual garantiza su disponibilidad para el consumo de los elementos de la estación meteorológica.

El sistema consta de los siguientes elementos:

Elemento	Características
Módulo fotovoltaico	Dimensiones (mm): 350*295*25 Potencia máxima 10 W Voltaje a máxima potencia: 17.8V Corriente a máxima potencia: 0.56 A Voltaje de cortocircuito (Voc): 21.2 V Corriente de cortocircuito (Isc): 0.6 A
Controlador solar de carga	10 A, 12/24V
Batería	Recargada sellada de ácido-plomo 12Vcc – 18 Ah

Tabla 2. Elementos del Sistema de alimentación solar. Elaboración propia.

Posteriormente se estableció la interconexión de los elementos que componen el sistema fotovoltaico aislado (figura 2).

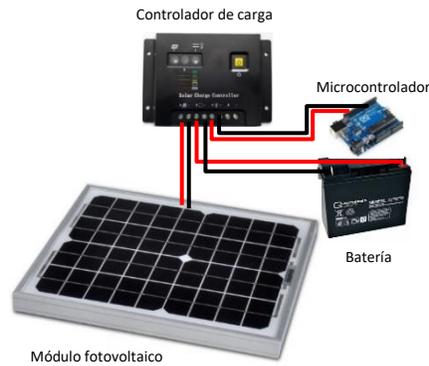


Figura 2. Esquema del sistema de alimentación de energía solar autónoma. Elaboración propia.

Con las características del sistema de acumulación, se realizó el cálculo de la energía almacenada en la batería (Vallina, 2010), para ello se utilizó la ecuación 1.

$$Energia\ almacenada = Cap_{bat} * Volt_{bat} \quad Ecuación\ (1)$$

Posteriormente se realizó el cálculo del consumo medio diario a partir de la ecuación 2:

$$Energia\ almacenada = \frac{L_D * F_{SB}}{PD_{max}} \quad Ecuación\ (2)$$

Donde:

Cap_{bat}: Capacidad de la batería (Ah)

Volt_{bat}: Tensión nominal de la batería (Volts)

L_D: Consumo medio diario (Wh)

F_{SB}: Días de autonomía

PD_{max}: Profundidad máxima de descarga (%)

3. Resultados

Selección de sensores

El sensor DHT22 que se muestra en la figura 3 es el encargado de obtener las mediciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, con la ventaja de que su señal de salida digital la envía a través de un solo bus.

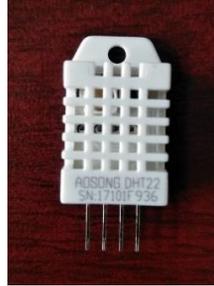


Figura 3. Sensor de temperatura y humedad DHT22. Elaboración propia.

Fue necesario identificar las terminales como se muestra en la tabla 3 para realizar la interconexión con la tarjeta ARDUINO UNO.

Pin	Función
1	Alimentación (V _{CC})
2	Señal de datos
3	No conectar
4	GND

Tabla 3. Secuencia del número de pines: 1, 2, 3, 4 (de izquierda a derecha). Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestra la caracterización de la celda fotovoltaica de 7 V que funcionó como sensor analógico de radiación solar.



<i>W/m2</i>	<i>Volts</i>	<i>Amperes</i>
135	4.8	0.01
145	5	0.01
155	5.1	0.01
165	5.2	0.011
170	5.3	0.011
180	5.4	0.011
190	5.5	0.011
200	5.5	0.011
220	5.6	0.012
250	5.8	0.012
300	5.9	0.013
400	6	0.013
550	6.2	0.014
600	6.1	0.015
700	6.5	0.016
800	6.8	0.017
900	6.8	0.018
1000	7	0.019

Tabla 4. Caracterización de celda solar. Elaboración propia.

La tarjeta ARDUINO UNO (Figura 4) es el componente medular del sistema de medición y adquisición de datos, pues es la encargada de llevar a cabo la lectura, procesamiento y administración de la información para que pueda ser almacenada y se pueda disponer de ella.



Figura 4. Placa electrónica ARDUINO. Elaboración propia.

Código de programación

Se realizó la programación en IDE Arduino (figura 5), habilitando como entradas analógicas y digitales algunos pines para la lectura de sensores, interconectando la tarjeta con un módulo de reloj en tiempo real y adaptando un módulo para tarjeta SD donde se almacenó la información generada. El código que se desarrolló se muestra a continuación.

```

Datalogger_final Arduino 1.8.9
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Datalogger_final
/*
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUICHAPAN - DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
CÓDIGO PARA ARDUINO UNO UTILIZADO PARA MEDIR TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y RADIACIÓN SOLAR.
*/
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#define DHTPIN 2 // Pin donde se conecta el sensor de humedad y temperatura
#define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
const int sensorPin = A0; // Pin donde se conecta el sensor de radiación
int sensorValue; // variable que almacena el valor raw (0 a 1023)
float value; // variable que almacena el valor (2.5 a 5.0)
uint8_t second, minute, hour, wday, day, month, year, ctrl;
File myFile;

void setup()
{
  // Reloj
  pinMode(A3, OUTPUT);
  digitalWrite(A3, HIGH);
  pinMode(A2, OUTPUT);
  digitalWrite(A2, LOW);
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Iniciando SD ...");
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
  }
  Serial.println("Inicialización exitosa");

  if (SD.exists("datalog.txt")) {
    Serial.println("El archivo ya existe... ");
  }
  else {
    myFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE); //abrimos el archivo
    if (myFile) {
      myFile.print("FECHA");
      myFile.print(", HORA");
      myFile.print(", TEMPERATURA");
      myFile.println(", HUMEDAD RELATIVA");
      myFile.println(", RADIACIÓN SOLAR");
    }
    myFile.close(); //cerramos el archivo
  }
}

```

Figura 5. Código de programación elaborado para el sistema de medición y adquisición de datos. Elaboración propia.

Integración del sistema

Se interconectaron los elementos que integran el sistema: sensor de humedad relativa y temperatura, sensor de radiación solar, módulo de reloj en tiempo real (RTC) modelo Pcf8563. y módulo para tarjeta SD, como se muestra en la figura 6.

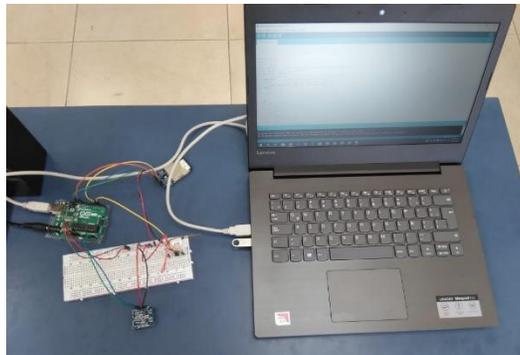


Figura 6. Interconexión de elementos del sistema de medición. Elaboración propia.

7. Se realizaron pruebas de funcionamiento obteniendo una base de datos tal como se muestra en la figura

	A	B	C	D	E
5	DOMM/AAA HHMM	TEMP	HR	RAD-SOL	
6	11/07/2019 13:30	15.2	91	215	
7	11/07/2019 13:40	16.1	88	314	
8	11/07/2019 13:50	16.7	83	348	
9	11/07/2019 14:00	17.3	81	386	
10	11/07/2019 14:10	17.9	77	405	
11	11/07/2019 14:20	18.9	71	487	
12	11/07/2019 14:30	19.6	66	526	
13	11/07/2019 14:40	20.1	65	576	
14	11/07/2019 14:50	20.4	62	593	
15	11/07/2019 15:00	20.6	62	599	
16	11/07/2019 15:10	20.7	62	654	
17	11/07/2019 15:20	20.6	63	704	
18	11/07/2019 15:30	20.5	63	744	
19	11/07/2019 15:40	21	63	714	
20	11/07/2019 15:50	21	64	876	
21	11/07/2019 16:00	20.9	64	827	
22	11/07/2019 16:10	21.1	63	879	
23	11/07/2019 16:20	21	62	829	
24	11/07/2019 16:30	21	62	889	
25	11/07/2019 16:40	21.6	61	954	
26	11/07/2019 16:50	22	60	977	
27	11/07/2019 17:00	22.5	58	1007	
28	11/07/2019 17:10	22.8	57	1012	
29	11/07/2019 17:20	22.2	58	635	
30	11/07/2019 17:30	22.8	58	1009	
31	11/07/2019 17:40	22.2	58	500	
32	11/07/2019 17:50	22.8	57	1134	
33	11/07/2019 18:00	22.8	55	584	
34	11/07/2019 18:10	23.6	52	1129	
35	11/07/2019 18:20	24	49	645	

Figura 7 Base de datos registrados por los sensores. Elaboración propia.

A partir de la base de datos se generaron gráficas para observar el comportamiento de las variables, figuras 8, 9 y 10.

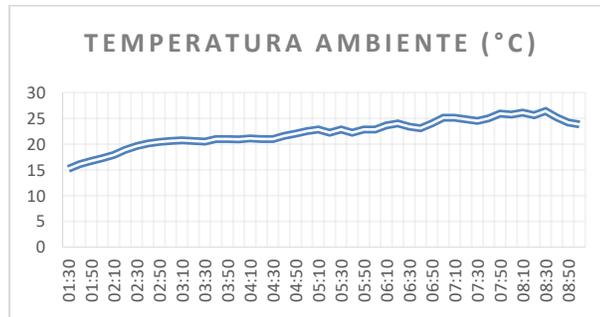


Figura 8. Temperatura ambiente (°C). Elaboración propia.

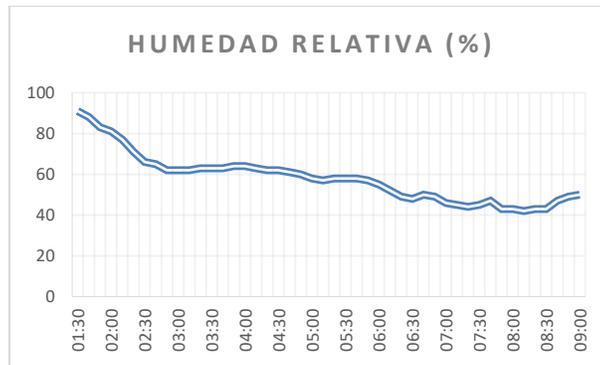


Figura 9. Humedad relativa (%). Elaboración propia.

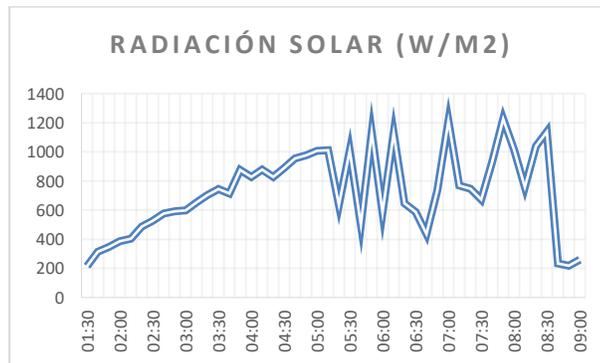


Figura 10. Radiación solar (W/m2). Elaboración propia

Sistema de generación de energía

El sistema de generación que se propuso, abastece de energía eléctrica a los sensores y dispositivos existentes, así como a posteriores incorporaciones de herramientas y componentes. En la tabla 5, se muestran los resultados del sistema de generación y almacenamiento de energía.

Resultados del sistema de almacenamiento y generación de energía	
Capacidad de la batería (Cap_{bet})	18 Ah
Tensión nominal de la batería ($Volt_{bat}$)	12 V
Energía almacenada	216 Wh
Profundidad máxima de descarga (PD_{max})	65%
Días de autonomía (F_{SB})	2
Consumo medio diario (L_D)	70.2 Wh
Módulo fotovoltaico	10 W
Controlador de carga	10 A, 12/24 V

Tabla 5. Resumen de resultados del sistema de generación y almacenamiento de energía. Elaboración propia

Teniendo todos los elementos, se llevó a cabo la interconexión del sistema fotovoltaico autónomo con el sistema de medición de variables climatológicas, que en conjunto ayuda a recolectar información para conocer las condiciones climáticas de una zona, así como, llevar a cabo el análisis de la disponibilidad de recursos renovables para la generación de energía eléctrica de manera limpia. La información contenida en la base datos es confiable para su utilización en proyectos relacionados con el uso de las energías renovables.

El sistema de medición y adquisición de datos representa una solución a la problemática de registrar de manera permanente variables climatológicas durante largos periodos de tiempo en zonas lejanas o de difícil acceso, además que al incorporar una fuente de alimentación solar el sistema puede funcionar de manera autónoma.

A diferencia de los sistemas de medición y adquisición de datos incorporados en las estaciones meteorológicas convencionales, este puede ser configurado y brinda la posibilidad de ampliar o reducir el número de variables a medir debido entre otras razones a su implementación en una plataforma de uso libre (arduino).

Entre las ventajas más importantes tenemos que el proceso de configuración resulta claro y transparente, la instalación no depende de la disponibilidad de energía eléctrica y las bases de datos generadas son de fácil acceso y manejo.

4. Conclusiones

Con la implementación del sistema de medición y adquisición de datos, se pudo analizar el comportamiento de variables climatológicas, actividad que resulta una necesidad cuando se requieren obtener datos en tiempo real y en un lugar específico. El sistema desarrollado funciona de manera similar a una estación meteorológica con las ventajas de que sus componentes son de bajo costo, además de poder configurarlo de acuerdo a los requerimientos del usuario.

La base de datos obtenida brinda la posibilidad de trabajar y procesar la información en hojas de cálculo, además de que la información generada es confiable por las características técnicas de los componentes utilizados. Las mediciones realizadas se registran en promedio cada diez minutos tomando como referencia el funcionamiento de las estaciones meteorológicas existentes, sin embargo, el periodo de registro puede ser modificado de acuerdo a las necesidades de monitoreo.

El sistema es sustentable al utilizar un módulo fotovoltaico como fuente de alimentación primaria. El sistema de generación de energía implementado permite incorporar a futuro componentes y/o equipos de manera modular.

La utilización de plataformas de uso libre es de gran importancia en la generación de dispositivos cuyo código puede ser analizado y manipulado con fines didácticos.

En trabajos futuros las características del sistema se pueden mejorar agregando sensores, módulos de comunicación con otros dispositivos y aplicación de internet de las cosas.

5. Referencias

- Aparicio, M. P. (2008). *Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una instalación aislada*. Marcombo.
- Artero, Ó. T. (2013). *ARDUINO. Curso práctico de formación*. RC Libros.
- Figuroa-Cuello, A. N., Pardo-García, A., & Díaz-Rodríguez, J. L. (2017). *Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos*. Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 7(2), 367-378.
- Goilav, N., & Geoffrey, L. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.
- Grzesiak W. (2016) *Sistema innovador para la recolección y gestión de energía en un módulo fotovoltaico*. Solar Energy, 132, 442-452.
- Miguel, M. G., & Bolado, E. M. (2010). *Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal (Vol. 15)*. Ed. Universidad de Cantabria.
- Pardo-García, A., & Castellanos-González, L. (2017). *Automatización de ambientes en invernaderos simulando escenarios futuros*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1, 29.
- Pedreira, A. C. (2017). *Arduino para Principiantes: 2ª Edición*. IT Campus Academy.
- Rodríguez, E. J. A., Ocampo, J. W. M., & Ortega, C. A. S. (2007). *Medición de temperatura: sensores termoeléctricos*. Scientia et technica, 1(34).
- Ruiz-Ayala, D. C., Vides-Herrera, C. A., & Pardo-García, A. (2018). *Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos*. Revista de investigación, Desarrollo e Innovación, 8(2), 333-341.
- Sáenz, K. B., García, A. P., & Ch, I. T. (2013). *Control aplicado a una estructura mecánica para el posicionamiento automático de módulos fotovoltaicos*. Revista colombiana de tecnologías de avanzada (RCTA), 2(22).
- Serna, A., Ros, F., & Rico, J. C. (2010). *Guía práctica de sensores*. Creaciones Copyright SL.
- Serrano, J. C. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas 2ª edición 2018*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Vera, L., Cuestas, C., Firman, A., Cáceres, M., & Busso, A. (2016). *Instrumento autónomo para la medición, visualización y almacenamiento de variables climáticas*. Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica, 3, 172-179.

6. Notas Biográficas

Adriana Paulina Aranzolo Sánchez actualmente se desempeña como estudiante del programa de Ingeniería en Energías Renovables por el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

El **Ing. Eleazar Campero Ángeles** es Ing. Eléctrico por el IPN, Ciudad de México, México, actualmente se desempeña como PI. en la División de Ingeniería en Energías Renovables por el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

El **Mtro. Jorge Alberto Azuara Jiménez** es Mtro. en Administración de la Energía y sus fuentes Renovables por el ITESM, Pachuca, Hidalgo, México, actualmente se desempeña como PI. en la División de Ingeniería en Energías Renovables por el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

El **M.C.E.E. Jairo García Domínguez** es Mtro. en Ciencias en Energía Eólica por la UNISTMO Campus Tehuantepec, Sto. Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México, actualmente se desempeña como PI. en la División de Ingeniería en Energías Renovables por el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

Extracción de metabolitos secundarios a partir de plantas nativas de la región de Misantla como repelente e insecticida orgánico contra el psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri*.

II. Levi Yornedy Nochebuena Sanchez¹, MII. Margarito Landa Zárate², IBQ. Irma Castillo Carmona³, Adriana Karina Rivas Fuentes⁴, Julia Martínez Grajales⁵, MII. Marieli Lavoignet Ruíz⁶.

¹ Levi Yornedy Nochebuena Sanchez, Ingeniero Industrial, estudiante del Posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: leviyornedy@gmail.com

² Margarito Landa Zárate, MII., es profesor Investigador del área de posgrado e investigación en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlandaz@itsm.edu.mx

³ Irma Castillo Carmona, Ingeniera Bioquímica, Profesora de la Academia de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. Mail: icastilloc@itsm.edu.mx

⁴ Adriana Karina Rivas, estudiante de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

⁵ Julia Martínez Grajales, estudiante de la carrera de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

⁶ Marieli Lavoignet Ruiz, MII., es profesora de la academia de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. Mail: mlavoignet@itsm.edu.mx

Resumen— La *Diaphorina citri* es el vector que transmite el Huanglongbing (HLB) también conocido como dragón amarillo, una enfermedad provocada por bacterias que ataca a los cítricos, provocándoles defoliación, caída de los frutos y culmina con su muerte biológica.

Para el control y manejo de la *Diaphorina citri* se han utilizados diversos métodos químicos y biológicos, en el caso de controles químicos que generalmente son altamente tóxicos y muy contaminantes al medio ambiente, provocando como consecuencia plagas resistentes a estos químicos. Una alternativa es el uso de bioplaguicidas derivados de productos naturales. Esta investigación se realizó la búsqueda de plantas nativas de la región de Misantla que presentan propiedades insecticidas para combatir dicho vector.

Esta investigación se realiza en cuatro fases: exploración y selección de plantas, extracción de metabolitos secundarios, pruebas in vitro y pruebas en campo. El objetivo de este artículo comprende las primeras dos fases, con las cuales se seleccionaron las plantas: *Azadirachta indica* a. juss (neem), *Brugmansia Arborea* (Floripondio) y *Melia Azaderach* (Árbol del Paraíso o piocha); a las que se les realizaron la extracción de sus metabolitos secundarios utilizando los métodos de maceración y la técnica de extracción mediante columna de destilación.

Palabra(S) Clave— Metabolitos secundarios; *Diaphorina citri*, maceración, columna de destilación.

Abstract— *Diaphorina citri* is the vector that transmits Huanglongbing (HLB) also known as yellow dragon, a disease caused by bacteria that attacks citrus fruits, causing defoliation, fruit fall and culminates with its biological death.

This research is carried out in four phases: exploration and selection of plants, extraction of secondary metabolites, in vitro tests and field tests. For the dissemination of this article, it comprises the first two phases, with which the plants are selected: *Azadirachta indica* a.juss (neem), *Brugmansia Arborea* (Floripondio) and *Melia Azaderach* (Tree of Paradise or piocha); to which the extraction of their secondary metabolites is extracted using the maceration methods and the distillation column extraction technique.

Keywords— Secondary metabolites, *Diaphorina citri*, maceration methods, column extraction.

1. INTRODUCCIÓN

El psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama, es considerado como la plaga más importante en el mundo, ya que ocasiona daños considerables principalmente en huertas recién establecidas y en aquellas especies que presentan varias brotaciones vegetativas durante el año, lo que ha originado gran interés por parte de los productores, técnicos e investigadores relacionados con la citricultura. El daño directo es causado por las ninfas y adultos al extraer grandes cantidades de savia de las hojas, pecíolos y brotes tiernos, ocasionando

deformaciones, enrollamiento y secreción de una mielecilla que favorece la aparición de la fumagina (Sandoval Reyes, Arriaga Gaona, Hernández Limón, Hernández Romero, & Guzmán González, 2013).

Si bien, *Diaphorina citri* es una plaga de importancia, es mucho más relevante el daño que causa como el vector más eficiente del Huanglongbing (enfermedad del dragón amarillo), conocida anteriormente “Greening” (enverdecimiento), cuyo agente es la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticum*, para la forma asiática y *Candidatus Liberobacter africanum*, para la forma africana. Esta enfermedad tiene alta incidencia en Asia y África y es considerada como un factor limitante para la producción de cítricos en esos continentes (Varela et al., 2006) citado por (Sandoval Reyes, Arriaga Gaona, Hernández Limón, Hernández Romero, & Guzmán González, 2013).

En los últimos seis años se ha reportado su propagación por América, en Brasil, Florida, Cuba y México, entre otros. En este último, la *Diaphorina citri*, se encuentra distribuida en sus 23 estados citrícolas, ocasionando daños directos en grado diverso, a más de 500 mil hectáreas de cítricos, en donde pueden presentarse de 10 a 12 generaciones al año, dependiendo de las condiciones climáticas y variedades cultivadas (Díaz, 2010) (Sandoval Reyes, Arriaga Gaona, Hernández Limón, Hernández Romero, & Guzmán González, 2013); es por esto que lo convierte en una amenaza para la citricultura mexicana y se hace necesario e importante contar con medidas efectivas para su control.

Actualmente se realiza muestreo de brotes vegetativos tiernos o mediante el uso de trampas pegajosas, se cuenta con una gama de insecticidas químicos y aceites minerales, que pueden utilizarse para el control del insecto. Se cuenta además con el control de enemigos naturales, entre parasitoides, depredadores y entomopatógenos que atacan a esta plaga; con todo lo anterior no se ha tenido el éxito esperado y lejos de obtener resultados de calidad con el uso de insecticidas químicos estos repercuten en el daño al agua, aire y suelo (Sandoval Reyes, Arriaga Gaona, Hernández Limón, Hernández Romero, & Guzmán González, 2013).

Los metabolitos secundarios (MS) son compuestos de bajo peso molecular que no solamente tienen una gran importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente, como es el establecimiento de la simbiosis con otros organismos y en la atracción de insectos polinizadores y dispersores de las semillas y frutos, sino que también, una síntesis activa de MS se induce cuando las plantas son expuestas a condiciones adversas tales como: a) el consumo por herbívoros (artrópodos y vertebrados), b) el ataque por microorganismos: virus, bacterias y hongos, c) la competencia por el espacio de suelo, la luz y los nutrientes entre las diferentes especies de plantas y d) la exposición a la luz solar u otros tipos de estrés abiótico (Sepulveda Jiménez, Porta Ducoing, & Rocha Sosa, 2003).

Las plantas suelen responder a estímulos externos a través de la producción de metabolitos secundarios. Algunas de estas sustancias se utilizan como mecanismo de defensa ante ataques de insectos plaga que amenazan la supervivencia de la planta (Corella, 2010) citado en (Cortez Mondaca, y otros, 2013). Estas propiedades de las plantas son aprovechadas por el hombre por ser de fuentes naturales, no seleccionar resistencia y tampoco representar problemas por residualidad al momento de la cosecha en la producción agrícola. Los metabolitos secundarios de las plantas se obtienen ya sea por extracción cruda o por aislamiento de compuestos activos. Pueden ser utilizados en mezcla de diversas plantas o de forma individual (Mansour et al., 2011) citado en (Cortez Mondaca, y otros, 2013) causando antagonismo de hormonas, inhibición alimentaria, inhibición de oviposición neurotoxicidad, repelencia, entre otros (Pascual, 1996) citado en (Cortez Mondaca, y otros, 2013) e incluso la muerte por efecto agudo letal. Algunos extractos vegetales ampliamente utilizados para el control de *Diphorina Citri* se encuentran en las piretrinas y la azadiractina. Las piretrinas son un grupo de ésteres aislados principalmente de plantas pertenecientes al género *Chrysanthemum spp.*, cuyo efecto es neurotóxico de contacto ya que se unen a los canales de sodio de las células neuronales causando su apertura permanente (Yang et al., 2012) citado en (Cortez Mondaca, y otros, 2013). Las azadiractinas son extraídas del *nim Azadirachta indica* Juss, se ha observado que inhiben la alimentación y la oviposición, pero su efecto más importante es interferir con el desarrollo, crecimiento y reproducción de los insectos (Cortez Mondaca, y otros, 2013).

En el control y manejo de poblaciones de *Diaphorina citri* se han utilizado diversos métodos como el control químico, biológico y medidas preventivas (López et al. 2004) citado en (Cazares Alonso, Verde Star, López Arroyo, & Almeyda León, 2014). En el caso del control químico, se encuentran en el mercado algunos productos efectivos, pero altamente tóxicos contra organismos utilizados en el control biológico, muy contaminantes al ambiente, y causantes en el mediano y largo plazo, de la aparición de plagas secundarias y resistentes a los insecticidas utilizados (Llorens 2007) citado en (Cazares Alonso, Verde Star, López Arroyo, & Almeyda León, 2014). Los insecticidas orgánicos de productos naturales o sus derivados, representan una alternativa en el control del *Diaphorina Citri*, son biodegradables y no provocan riesgos para el ambiente ni para la salud humana o animal. Actualmente, varios productos naturales constituyen un gran potencial como controladores de dicha plaga (Fuentes et al. 2000) citado por (Cazares Alonso, Verde Star, López Arroyo, & Almeyda León, 2014).

Es por ello que el objetivo de la presente investigación es la evaluación de la actividad insecticida de extractos foliares de *Azadiractha indica a.juss* (neem), *Brugmansia Arborea* (Florifundio) y *Melia Azaderach* (árbol de paraíso) que presentan propiedades insecticidas, ya que dichas plantas son originarias de la región de Misantla, como una alternativa sustentable de control de la plaga *Diaphorina Citri* con énfasis en el control biológico, con la finalidad de orientar a productores y técnicos en la toma de decisiones sobre estrategias eficientes para el control de esta plaga en diferentes situaciones y reducir la diseminación del HLB.

2. DESARROLLO

Fase I: Exploración y selección de plantas

Durante el desarrollo de esta fase se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el uso de las plantas como fungicidas orgánicos para controlar la *Diaphorina citri*, agente trasmisor del HLB; durante esta búsqueda se identificaron 9 plantas con estas propiedades, mismas que se resumen en la tabla 1. Durante la búsqueda se realizó la búsqueda del ingrediente activo, partes de la planta en donde se concentra el ingrediente activo, tipos de plagas que combate y el efecto que manifiesta ante la plaga.

Tabla 1. Tipos de Plantas con capacidad insecticida y repelente originarias de Misantla para combatir *Diaphorina Citri*.
Fuente: Elaboración Propia

PLANTA	INGREDIENTE ACTIVO	COMPONENTE	PLAGAS	EFEECTO EN LA PLAGA
Extracto de Ortiga (<i>Urtica dioica</i>)	Serotonina, histamina, filosterina	Hojas	Afidos, Pulgones, Acaros, <i>Diaphorina Citri</i> y Nematodos	Repelente
Extracto de Neem (<i>Azadiracta indica</i>)	Azadiractina	Hojas, semilla y Corteza	Afidos, Pulgones, Acaros y <i>Diaphorina Citri</i>	Repelente, Insecticida y fungicida
Extracto de higuera o castor (<i>Ricinus communis L.</i>)	Ricina y Ricidina	Semilla	<i>Diaphorina Citri</i> y Nematodos	Fungicida e Insecticida
Extracto de Canela (<i>Cinnamomum zeylanicum Nees</i>)	Eugenol	Corteza	Acaros y <i>Diaphorina Citri</i>	Insecticida
Extracto de Florifundio (<i>Datura stramonium</i>)	Escopolamina y Hiosciamina	Flores	<i>Diaphorina Citri</i>	Insecticida
Acuyo (<i>Piper auritum</i>)	Safrol	Hoja	<i>Diaphorina Citri</i>	Insecticida y Repelente
Piocha (<i>Melia azedarach</i>)	Azadiractina	Semilla	<i>Diaphorina Citri</i>	Insecticida
Semilla molida de Guanaba (<i>Annona muricata L.</i>)	Anonacina	Semilla	Afidos y <i>Diaphorina Citri</i>	Insecticida

Actualmente uno de los métodos más sencillos para la identificación de vegetales que son potenciales fuentes de insecticidas, es la realización de una encuesta etnobotánica sobre estas prácticas tradicionales (Shmutterer, 1990). Para ser aprovechable, una buena encuesta etnobotánica debe proporcionar, además de las informaciones socio-etnológicas las siguientes precisiones, indispensables para la interpretación de las condiciones de eficacia de las plantas:

- El estado del vegetal utilizado como protector: su aspecto y estado físico (fresco, triturado, secado), su olor, su madurez en el momento de recolección, las condiciones en que se desarrolló.

- Las plantas que se quiere proteger y los insectos Diana: en efecto, la experiencia demuestra que los resultados obtenidos con un insecto no son forzosamente reproducibles con otra especie.
- Las condiciones en las que se realiza la protección: espacio abierto o cerrado, temperatura, humedad relativa, fotoperiodo.
- El tipo de actividad ejercida por el vegetal: efecto insecticida (efecto letal), efecto Know down (el insecto queda privado momentáneamente de su movilidad), efecto repelente.

Considerando los criterios de discriminación: disponibilidad de la planta y efectos de los metabolitos secundarios en la plaga, se procedió a seleccionar las plantas que se van a utilizar en las siguientes fases de investigación, resultando seleccionadas: *Brugmansia arborea*, *Azadirachta indica* A. Juss y *Melia azedarach*, cuyas características se describen a continuación:

El floripondio (*Brugmansia arborea*) es una especie de planta arbustiva del género *Brugmansia* de la familia Solanaceae. Es nativa de América del Sur crece de manera silvestre también en América central, pero se encuentra naturalizada o cultivada en todo el mundo (Arteaga, 1993). El género *Brugmansia* pertenece a la familia botánica de las Solanáceas a la que también pertenecen plantas como el Tabaco (*Nicotiana sp.*), Tomate Riñón (*Solanum lycopersicum*), Tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y la Papa (*Solanum tuberosum*). Esta familia botánica es conocida por contener un amplio rango de metabolitos secundarios; sobre todo los Alcaloides derivados de los grupos del Tropano, Nicotino e Higrina; Amidas (un rango amplio de ácidos grasos); varios grupos de Esteroides; Flavonoides; y Di y Tri Terpenos. Estos compuestos son de particular interés en el campo de la medicina y de la toxicología ya que tiene aplicaciones como insecticidas (Torres-Nagera, 2013).

El Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) es árbol, originario del sureste asiático, posee una gran resistencia a la sequía y adaptabilidad a prácticamente todo tipo de tierras. Se ha demostrado en innumerables investigaciones que las materias activas que contiene en sus semillas son eficaces contra más de 130 plagas y que su componente principal, la azadirachtina, es un insecticida muy efectivo y específico (Jacobson, 1989). La *Azadirachtina* es compuesto tetraterpenoide característico de la familia Meliaceae pero especialmente del árbol Nim (*A. indica*), originario de la india. Este se encuentra en la corteza, hojas y frutos de este árbol pero la mayor concentración se ubica en la semilla. Este compuesto no ha podido ser sintetizado en laboratorio además de que cuando ha sido aislado y probado solo, los resultados han sido menores a cuando se aplican extractos.

EL árbol del paraíso (*Melia azedarach*) también conocido como piocha es un árbol caducifolio de unos 10 a 15 m de altura, tronco recto y delgado, con corteza oscura y fisurada, y copa globosa. La actividad insecticida de *M. azedarach* está en hojas, tallos, frutos y semillas. De estas estructuras se han extraído, con acetona, agua, alcohol, cloroformo, diclorometano y éter de petróleo, los siguientes compuestos: paraisina, cumarinas, azederacol, meliacarpina, meliacarpinina, melianol, melianona, meliantriol, meliatina, meliatoxina, nimbolida, nimbolidina, nimbolinina, oquinolida, sendanina, toosendanina y vilasinina. Destacan principalmente meliartenin, limonoide (triterpeno), con cualidades antialimentarias, y azadirachtina (triterpeno), el mayor compuesto natural antialimentario conocido, proveniente de *A. indica*. La actividad insecticida de *M. azedarach* se debe a un grupo de triterpenoides biológicamente activos, que tienen efecto antialimentario; es decir, inhiben la alimentación de insectos fitófagos mordedores como coleópteros y larvas de lepidópteros. Se han probado variados extractos de *M. azedarach* de las hojas como de los frutos sobre distintas plagas con resultados variables aunque promisorios.

Fase II. Extracción de los metabolitos secundarios de las plantas seleccionadas.

Los principios activos de las plantas se extraen y se presentan en formulaciones comerciales [110], estas extracciones plantean frecuentemente problemas técnicos debido a su naturaleza química al pertenecer al metabolismo secundario de las plantas, estos metabolitos suelen ser alcaloides, polifenoles, terpenoides, esteroides y aceites esenciales. Para la extracción de los metabolitos secundarios se emplearon los métodos de maceración y columna de destilación.

Se recolectaron muestras de hojas para el caso del neem y la picha y flores para el caso del florifundio y se almacenaron en bolsas de tela.

Método de maceración: Se recolectaron las plantas en las mejores condiciones y se limpiaron para evitar residuos que pudieran alterar los extractos, después se dejaron extendidas al exterior durante 24 horas, se etiquetaron y almacenaron a temperatura ambiente. Se realizó un pesaje antes de colocar las hojas en el deshidratador, posteriormente se tomó un peso determinado de cada planta, se colocó en un deshidratador hasta obtener un peso constante. Se pulverizaron las hojas una vez secas, seguidamente se licuaron con etanol, se almacenan durante 7 días, después se mezcló y se filtró. Por último se realizó una evaporación a sequedad del etanol hasta eliminar completamente

Con el método de la columna de destilación solido liquido se colocaron las muestras de las plantas y se mantuvo una temperatura de 70° c durante una hora para cada tipo de planta, posteriormente se filtro y se colocaron en frascos para su almacenamiento. Por último se realizó una evaporación a sequedad del etanol hasta eliminar completamente.

Fase III y Fase VI: prueba in vitro y prueba en campo

Por último, una vez conociendo los principios activos, su eficacia y los insectos, es necesario pasar del laboratorio a la fase industrial: ensayos en las condiciones de campo, expedientes toxicológicos y ecotoxicológicos, elección de una estrategia comercial, rentabilidad de los mercados previstos.

Los estudios sobre la eficacia de diferentes fracciones de plantas aromáticas demuestran que existan una gran variación en la sensibilidad de las especies para un mismo compuesto (C. Renault-Roger, 1997), a su vez se ha observado que una misma molécula aleloquímica no ejerce obligatoriamente la misma actividad en los diferentes estados del ciclo reproductor de un insecto; es decir, que la sensibilidad del insecto puede evolucionar en función de su desarrollo fisiológico. En consecuencia, la selectividad y especificidad permiten a las moléculas aleloquímicas vegetales actuar en el momento determinado sobre la especie diana. Estas pruebas se encuentra en proceso de realización y se planea el desarrollo de un trabajo futuro, cuyos resultados se difundirán una vez que la investigación se haya concluido en su totalidad.

3. RESULTADOS

Se identificaron durante la exploración bibliográfica 8 plantas nativas de la región de Misantla que contienen metabolitos secundarios que sirven el control de Diaphorina Citri, las cuales son:

- Guanábana (*Annona muricata L.*)
- Neem (*Azadirachta indica A.Juss*)
- Canela (*Cinnamomum verun J. Presi*)
- Piocha (*Melia azedarach L.*)
- Acuyo (*Piper auritum Kunth*)
- Higuierilla (*Ricinus communis L.*)
- Florifundio (*Brugmansia Arborea*)
- Ortiga (*Urtica dioica L*)

De estas plantas se seleccionaron 3 para hacer pruebas in vitro y campo (Neem (*Azadirachta indica A.Juss*), Piocha (*Melia azedarach L.*) y Floripondio (*Brugmansia arborea L.*). Para la obtención de los metabolitos secundarios se extrajo mediante maceración y columna solido liquido, la maceración nos da la ventaja de obtener principios activos, no requiere de gran inversión, resulta relativamente sencillo su extracción, aunque su principal desventaja es el tiempo que se tarda la extracción; por otra parte, el método de columna solido líquido mantiene contraladas las condiciones presentes en la extracción por lo que se asegura la extracción al máximo valor posible, en un tiempo relativamente corto, con la desventaja de que para su realización se requiere de disponer de dicho equipo cuyo costo en el mercado es relativamente alto.

Tabla 2. Tabla comparativa de los resultados obtenidos de los dos tipos de extracción solido-liquido. Fuente: Elaboración Propia

TIPOS DE EXTRACCIONES EN LIQUIDO.	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MACERACION	Extrae la mayoría de las propiedades.	Necesita periodos extensos de tiempo
	Utiliza equipos simples con pequeñas cantidades de energía.	Extrae incompletamente.
	Reduce el costo de solvente.	Saturación del solvente.
	No altera las propiedades.	Perdida de extracto en la evaporación del solvente.
	Se realiza a temperatura ambiente.	Exceso de tiempo de reposo provoca fermentación. Deber estar oculto de la luz solar.
EXTRACCIÓN POR COLUMNA	Extracciones más rápidas.	Más costoso el equipo.
	Mayor obtención de principios activos.	Mayor uso de energía.
	Mayor aprovechamiento de la planta.	Se realiza mediante calor.
	No se realizan en oscuridad.	Alteración de los principios activos.
	Menor uso del solvente.	No se pierde el extracto durante la evaporación del solvente.

6. NOTAS BIOGRÁFICAS

El **ILLevi Yornedy Nochebuena Sanchez**. Este autor es estudiante del Posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **MAESTRO EN INGENIERIA INDUSTRIAL. Margarito Landa Zárate** es coordinador de estudios de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Tiene estudios de postgrado en Ingeniería Industrial por el Tecnológico de Puebla, Puebla, México.

EL **INGENIERO BIOQUIMICO Irma Castillo Carmona** forma parte de la academia de ingeniería bioquímica. Graduada del Tecnológico de Tehuacán, Puebla, México.

Adriana Karina Rivas Fuentes es estudiante de séptimo semestre de la carrera Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Julia Martínez Grajales es estudiante de séptimo semestre de la carrera Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **MAESTRA EN INGENIERIA INDUSTRIAL Marieli Lavoignet Ruíz** integrante de la academia de Ingeniería Industrial egresada del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Desarrollo de prototipo para la predicción de lluvias y monitoreo a través de una aplicación multiplataforma e IoT.

Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC¹⁰. MIDS. Adrián Chávez Cruz¹¹, Ing. Rubén Omar Reyes López¹².

Resumen— El presente trabajo muestra el desarrollo de un prototipo para la predicción de lluvias por medio del cual se recolectan datos meteorológicos como Temperatura, Humedad, etc. Usando diversos sensores que permiten enviar datos en tiempo real a una plataforma en la nube de Microsoft Azure© haciendo uso de Internet de las Cosas (IoT). La información obtenida es almacenada y se visualiza en forma de texto plano en una tabla donde nos arroja datos importantes como la temperatura del lugar donde se encuentra instalado el dispositivo, así como nos muestra datos de las posibles condiciones climatológicas en este caso el porcentaje de lluvia de acuerdo a la humedad obtenida. Todo esto con la finalidad de conocer en tiempo real las lecturas de los sensores por medio de un sistema multiplataforma que gestiona y accede a los datos obtenidos, brindando información precisa y confiable de los resultados acerca de la cantidad de mm de lluvia que se presentan en un determinado lugar.

Palabra(s) clave— Dispositivo, milímetros, sensores, IoT, sistema, plataformas.

Abstract— The present work shows the development of a prototype for the prediction of rains through which meteorological data such as Temperature, Humidity, etc. are collected. Using various sensors that allow real-time data to be sent to a Microsoft Azure © cloud platform using the Internet of Things (IoT). The information obtained is stored and displayed in the form of plain text in a table where it gives us important data such as the temperature of the place where the device is installed, as well as shows us data of the possible weather conditions in this case the percentage of rainfall according to the humidity obtained. All this with the purpose of knowing in real time the sensor readings by means of a multiplatform system that manages and accesses the data obtained, providing accurate and reliable information on the results about the amount of mm of rain that are presented in A certain place.

Key words – Device, millimeters, sensors, IoT, system, platforms

1. Introducción

La sequía es una anomalía climatológica transitoria en la que la disponibilidad de agua se sitúa por debajo de lo habitual de un área geográfica. El agua no es suficiente para abastecer las necesidades de las plantas, los animales y los humanos que viven en dicho lugar. La causa principal de toda sequía es la falta de lluvias o precipitaciones, este fenómeno se denomina sequía meteorológica y si perdura, deriva en una sequía hidrológica caracterizada por la desigualdad entre la disponibilidad natural de agua y las demandas naturales de la misma. En casos extremos se puede llegar a la aridez. (New Mexico State Water Plan , 2018)

Cuando persiste la sequía, las condiciones que dicho problema empeoran gradualmente y su impacto en la población local se incrementa.

La sequía meteorológica: se produce cuando ocurre un período prolongado con menos precipitación que la media.

La sequía hidrológica: se produce cuando las reservas de agua disponibles en fuentes como acuíferos, ríos, lagos y presas caen por debajo de la media estadística. la sequía hidrológica tiende a aparecer más lentamente porque se trata de agua almacenada que se utiliza, pero no se repone.

¹⁰ Daniel Ramírez Gutiérrez, TSyMEC, es Alumno de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. drg970118@gmail.com.

¹¹ El MIDS. Adrián Chávez Cruz, es Profesor de la división de Ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. achavez@iteshu.edu.mx

¹² El Ing. Rubén Omar Reyes López, es Profesor de la división de Ingeniería en sistemas computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Huichapan, Hidalgo. roreyes@iteshu.edu.mx

La sequía agrícola: es la que afecta a la producción de cultivos o la ecología del área biogeográfica. Esta condición también puede surgir independientemente de cualquier cambio en los niveles de precipitación, cuando las condiciones del suelo y la erosión provocada por actividades agrícolas mal planificadas causan un déficit en el agua disponible para los cultivos. Sin embargo, por lo general una sequía agrícola tradicional es causada por un período prolongado en la cual la precipitación cae por debajo del promedio. (Krinner, 1955)

2. Desarrollo

Este dispositivo es capaz de indicar a un programa externo el periodo en el cual se presentará una determinada cantidad de lluvia en un determinado lugar, para la elaboración de dicho proyecto fue necesario el siguiente material:

- Sensor de Temperatura
- Sensor de Humedad
- Circuitos integrados
- Celdas solares.
- Equipo de computo
- Conexión a internet
- Servicios IoT

“Sensores de Temperatura”

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico. Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares. El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos anteriores, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico. (Aboites, 2010)

“Sensores de humedad”

Los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego de jardines para detectar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no. Permiten medir la temperatura de punto de rocío, humedad absoluta y relación de mezcla. Instalaremos los circuitos integrados para poder modificar cada uno de ellos con la programación que se realizara para poder indicar el tiempo del funcionamiento del mismo.

“Circuitos integrados”

Un circuito integrado (CI), también conocido como chip o microchip, es una estructura de pequeñas dimensiones de material semiconductor, normalmente silicio, de algunos milímetros cuadrados de superficie (área), sobre la que se fabrican circuitos electrónicos generalmente mediante fotolitografía y que está protegida dentro de un encapsulado de plástico o de cerámica. El encapsulado posee conductores metálicos apropiados para hacer conexión entre el Circuito Integrado y un circuito impreso.

“Celdas Solares”

Dispositivo que capta la energía de la radiación solar para su aprovechamiento. El término comprende a los colectores solares utilizados usualmente para producir energía.

“Tecnología Internet de las Cosas (IoT)”

Este concepto se basa en la interconexión de cualquier producto con cualquier otro de su alrededor, es decir, conectar cualquier objeto y elemento a través de Internet. (itop tecnología y negocio, 2018)

Que las distintas cosas, objetos y dispositivos que tenemos en casa se comuniquen entre sí y nos ofrezcan datos y detalles sobre su funcionamiento. Si consiguiesen aplicar todo lo que tienen planteado podría suponer no solo una transformación tecnológica sino también económica y social. Si la tecnología consigue que los ordenadores transmitan información con los elementos de la vida real la trascendencia puede ser incluso mayor que la revolución digital.

Metodología

Para el desarrollo del prototipo y del sistema multiplataforma se ha seguido una metodología de avance por fases.

La primera fase, implantación y análisis, comprendió la recolección de información, específicamente, la identificación de variables que el prototipo necesitó como mínimo para la recolección de datos meteorológicos, como lo son temperatura y humedad, con el fin de obtener las características necesarias que permitieran el

dimensionamiento tanto de los sensores como de los módulos de comunicación, así como la recolección de datos, en donde se realizaron los algoritmos y el dimensionamiento de mismo como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Prototipo del dispositivo terminado
Fuente: Elaboración propia

En esta fase también se realizó el diseño del circuito como lo muestra la figura 2 así como la integración de los sensores con la placa solar.

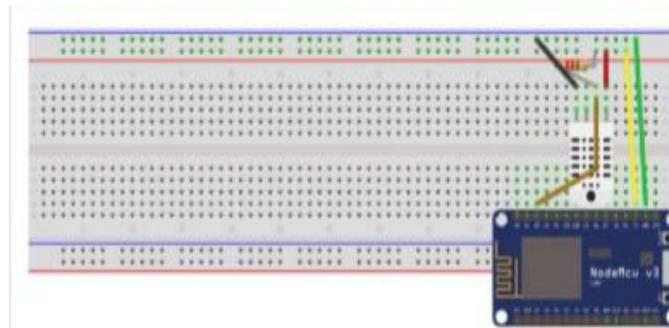


Figura 2. Diseño del circuito del dispositivo.
Fuente: Elaboración propia

La segunda fase, distribución y presentación, está enfocada a la transmisión y recepción de información del prototipo, como también a la visualización y la validación de los datos en plataformas IoT (Microsoft Azure©). Una vez recibidos los datos son almacenados en una tabla, para que los usuarios los puedan observar como se muestra en la Tabla 1.

Municipio	Lluvia intensa >75mm	Lluvia fuerte de 25 a 75mm	Lluvia ligera < 25mm	Porcentaje de humedad
Tecoautla	5%	85%	10%	70%
Huichapan	90%	5%	5%	90%
Nopala	10%	10%	80%	51%

Tabla 1. Datos que arroja el dispositivo diariamente

(Datos muestra del 30 agosto 2019)

Finalmente, en la tercera fase, se desarrolló el Software de apoyo multiplataforma siguiendo la metodología SCRUM.

Las metodologías ágiles están basadas en cuatro valores y permiten desarrollar proyectos de forma más acertada con las necesidades del cliente y responder mejor a los cambios que pudieran surgir al largo del proyecto. Pretenden ofrecer una alternativa más efectiva que los procesos tradicionales caracterizador por la rigidez y dominados por la documentación.

Los valores que rigen esta metodología son:

5. Valorar a las personas y las interacciones entre ellas por sobre los procesos y las herramientas
6. Valorar el software (producto) funcionando sobre la documentación detallada
7. Valorar la colaboración con el cliente por sobre la negociación de contratos
8. Valorar la respuesta a los cambios por sobre el seguimiento estricto de los planes

En Scrum un proyecto se ejecuta en ciclos temporales cortos y de duración fija (iteraciones que normalmente son de 2 semanas, aunque en algunos equipos son de 3 y hasta 4 semanas, límite máximo de feedback y reflexión). Cada iteración tiene que proporcionar un resultado completo, un incremento de producto final que sea susceptible de ser entregado con el mínimo esfuerzo al cliente cuando lo solicite.

El último día de la iteración se realiza la reunión de revisión de la iteración ya que tiene dos partes:

Revisión (demostración) (1,5 horas).El equipo presenta al cliente los requisitos completados en la iteración, en forma de incremento de producto preparado para ser entregado con el mínimo esfuerzo. En función de los resultados mostrados y de los cambios que haya habido en el contexto del proyecto, el cliente realiza las adaptaciones necesarias de manera objetiva, ya desde la primera iteración, replanificando el proyecto.

Retrospectiva (1,5 horas). El equipo analiza cómo ha sido su manera de trabajar y cuáles son los problemas que podrían impedirle progresar adecuadamente, mejorando de manera continua su productividad. El Facilitador se encargará de eliminar o escalar los obstáculos identificados que estén más allá del ámbito de acción del equipo. (¿Qué es SCRUM?, s.f.)

Un ejemplo de esto se encuentra en la figura 3 donde se explica brevemente el proceso a seguir.

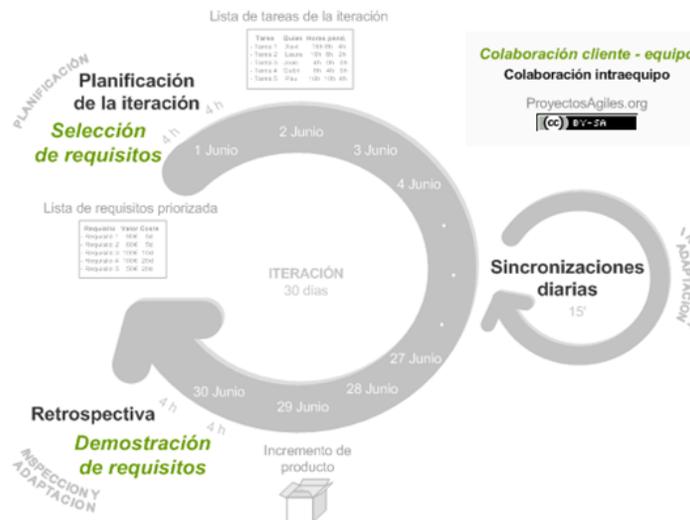


Figura 3: Metodología de seguimiento de proyectos SCRUM (Proyectos Agiles.com, 2016)

En la Figura 4 se muestra el inicio del sistema terminado con una interfaz intuitiva.



Figura 4. Pantalla de inicio del software
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se muestra el menú en donde únicamente hasta el momento se anexan tres regiones del estado de Hidalgo que son Tecozautla, Huichapan y Nopala (Posteriormente se añadirán más regiones).



Figura 5. Pantalla del menú del software
Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se muestra la información por región que arrojan los sensores, la cual por medio de codificación en lenguajes de programación se logró extraerla para el análisis y visualización de los usuarios por medio de IoT.



Figura 6. Pantallas del software de información por municipio
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Una vez obtenidos los datos y almacenados en la nube, se pudo observar el comportamiento de las lluvias, lo que permitió hacer un análisis estadístico.

Sabiendo que la cantidad de lluvia por unidad de área depende de la intensidad con la que cae y del tiempo durante el que está cayendo. (Predicción meteorológica de la lluvia, s.f.; New Mexico State Water Plan , 2018) Sea $R(t)$ la intensidad de la lluvia instantánea y P la cantidad de lluvia por unidad de área caída en un tiempo Δt teniendo así la Ecuación 1:

$$P = \int_{t'}^{t'+\Delta t} R(t)dt \quad \text{Ecuación. (1)}$$

Si \bar{R} es la intensidad de la lluvia promediada en el tiempo y Δt la duración de la lluvia podemos despejar variables y resolver la Ecuación 2.

$$\bar{R} = \frac{\int_{t'}^{t'+\Delta t} R(t)dt}{\Delta t} \quad \text{Ecuación. (2)}$$

Entonces la cantidad de lluvia total P en (mm) Ecuación 3 se expresa como:

$$P(\Delta t) = \bar{R} \Delta t \quad \text{Ecuación. (3)}$$

Se calcula la probabilidad de las precipitaciones de acuerdo a la cantidad de datos muestra almacenados, los cuales determinan así un área en específico (municipio), un plazo estimado del periodo de lluvias, así como la cantidad de lluvia en milímetros(mm), la temperatura y la Humedad del lugar, teniendo una mejor estimación de las temporadas en que se presentan las lluvias, de esta manera el usuario tiene con certeza una estimación de las próximas precipitaciones. (Baca Urbina, 2010)

4. Conclusiones

Con este proyecto se monitorean y obtienen por medio de sensores lecturas que ayudan a los usuarios a analizar y determinar diversas cuestiones en cuanto a la producción de productos agrícolas se refiere, de las cuales, por medio de las estadísticas que el sistema brinda a sus usuarios obtienen una mejor vista del panorama de las actividades climatológicas de esta manera los usuarios pueden tomar decisiones que los ayuden a mejorar la cantidad y calidad de las temporadas de siembras, contribuyendo así a que la cantidad de cosechas aumente debido a que se analizan las estadísticas y así saber cuándo y en qué momento realizar una siembra para poder obtener mejores productos. Se plantea como trabajo a futuro la implementación de más sensores en el dispositivo para así tener otros datos de acuerdo al terreno en donde se coloque.

5. Referencias

¿Qué es SCRUM? (s.f.). Obtenido de Inspección y adaptación de la metodología scrum: <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>

Aboites, L. D. (2010). "El manejo de las aguas mexicanas en el siglo XX" . México.

Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: Mc GrawHill.

itop tecnología y negocio. (2018). Obtenido de itop tecnología y negocio: <https://www.itop.es/blog/item/que-es-iot-internet-of-things.html>

Krinner, W. (1955). *influencia de los aspectos de organización y gestión en la eficiencia de los sistemas de riego*. CEDEX: Centro de Estudios de experimentación de Obras Públicas. Madrid,España.

(2018). *New Mexico State Water Plan* . Office of de State of Enginner.

Predicción meteorológica de la lluvia. (s.f.). Obtenido de Predicción meteorológica de la lluvia: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6981/07CAPITOL4.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

6. Notas Biográficas

El **TSyMEC. Daniel Ramirez Gutiérrez**. es de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, en Huichapan, Hidalgo, México. Actualmente cursa el último semestre su carrera.

El **MIDS. Adrián Chávez Cruz** es Maestro en Ingeniería y Desarrollo de Software por CPDS, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

El **Ing. Rubén Omar Reyes López** es ISCPor ITESHU, Huichapan, Hidalgo, México, actualmente se desempeña como profesor en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan.

Value Stream Mapping aplicado en el procesamiento de *Moringa oleífera*: caso de estudio de una empresa Veracruzana

Luis Enrique García Santamaría, II¹, ISC. Elizabeth Delfín Portela², Dr. Juan Manuel Carrión Delgado³,
Dra. Fabiola Sánchez Galván⁴, Lic. Elizabeth Nani González⁵.

¹ Luis Enrique García Santamaría, II, es de postgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, y profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México. Mail: leGarcías@itsm.edu.mx

² La Ing. Elizabeth Delfín Portela, es de postgrado en la maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: portela341@gmail.com

³ El Dr. Juan Manuel Carrión Delgado es Profesor Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Xalapa, Veracruz. Mail: carriodel@gmail.com

⁴ La Dra. Fabiola Sánchez Galván, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Tantoyuca, Veracruz. Mail: fsgalvan01@gmail.com

⁵ La Lic. Graciela Elizabeth Nani González es de postgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, y profesora en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz. Mail: bynimagen@gmail.com

Resumen— Las herramientas Lean Manufacturing se han posicionado en el entorno empresarial como metodologías claras y eficientes para la optimización de procesos en cualquier tipo de empresa. En el presente estudio se implementa la metodología lean llamada *Value Stream Mapping* o mapeo de cadena de valor en una empresa agroindustrial procesadora de *Moringa oleífera*, con el propósito de identificar y eliminar aquellas actividades que no agregan valor al proceso. Al final de la investigación se logra concluir que la implementación de la herramienta permite reconocer el comportamiento y las relaciones subyacentes dentro del proceso actual, y con base en éste, proponer estrategias de optimización para eficientar el sistema, mediante la eliminación de las actividades que generen desperdicio dentro del proceso y solo queden aquellas tareas que le den un valor agregado al producto por el cual el cliente sí esté dispuesto a pagar.

Palabra(s) clave— *Value Stream Mapping*, Proceso productivo, *Lean Manufacturing*, *Moringa oleífera*.

Abstract— Lean Manufacturing tools have positioned themselves in the business environment as clear and efficient methodologies for process optimization in any type of company. In this study, the lean methodology called Value Stream Mapping is implemented in an agro-industrial company processing *Moringa oleifera*, with the purpose of identifying and eliminating those activities that do not add value to the process. At the end of the investigation it is possible to conclude that the implementation of the tool allows to recognize the behavior and the underlying relations within the current process, and based on this, to propose optimization strategies to make the system more efficient, through the elimination of the activities that generate waste within the process and only those tasks that give an added value to the product for which the client is willing to pay.

Key words – *Value Stream Mapping*, *Productive process*, *Lean Manufacturing*, *Moringa oleifera*.

1. Introducción

El mapeo de proceso (VSM) contiene todas las acciones (tanto las que agregan y no agregan valor) requeridas para producir un bien o servicio: desde la materia prima, hasta llegar a las manos del cliente y se enfoca más al flujo de la producción. De acuerdo con (Villaseñor Contreras & Galindo Cota, Manual de Lean Manufacturing. Guía básica., 2009; Rajadell & Sánchez, 2010) el VSM es una herramienta esencial porque ayuda a visualizar más de un nivel de procesos de producción, permite apreciar más desperdicios, prevé un lenguaje común para hablar sobre procesos de manufactura, es útil que las herramientas cuantitativas y diagramas de layout, que producen una copia de los pasos que no agregan valor, tiempos de entregas, distancias recorridas, cantidad de inventarios y muchas cosas más. En este sentido (Socconini, 2013) considera que los VSM se utilizan para conocer a fondo el proceso tanto dentro de la planta como en la cadena de suministro, y permite entender completamente el flujo y, principalmente, detectar actividades que no agregan valor al proceso. Además de que se convierte en el anteproyecto para la implementación de la manufactura esbelta (Rajadell & Sánchez, 2010).

De acuerdo con (Villaseñor Contreras & Galindo Cota, Manual de Lean Manufacturing. Guía básica., 2009) los pasos para un mapeo de proceso son ocho: desde comprometerse con la manufactura esbelta, elegir el proceso, aprender acerca de la manufactura esbelta, mapa del proceso del estado actual, determinar los medibles de la manufactura esbelta, mapa del proceso estado futuro, crear planes kaizen, implementar los planes kaizen. Lo que se puede apreciar es que entre el mapa del proceso del estado actual, existe un paso con indicadores y se agrega el mapa del proceso del estado futuro, que sería la propuesta del VSM.

Mapear el estado actual se entiende como el trabajo en piso directamente y se obtienen los datos necesarios del VSM con el fin de elaborar el mapa. En este sentido, es necesario recolectar la información mientras se recorre el proceso mediante la identificación del flujo de los materiales, detenerse y observar, para recolectar los tiempos de manera personal. Debe además considerarse que el mapeo del proceso debe hacerlo una sola persona.

De acuerdo con (Villaseñor Contreras & Galindo Cota, Conceptos y reglas de Lean Manufacturing, 2008) el VSM futuro muestra cómo debería quedar el proceso de flujo de información y materiales, así como las áreas de oportunidad mostradas como actividades de kaizen. También muestra cómo puede realizarse el cambio de mapa presente a futuro por medio de loops para definir áreas de trabajo. También se conoce como mapa ideal de un proceso.

De acuerdo con (Rajadell & Sánchez, 2010) el VSM puede clasificarse en VSM con el proveedor, VSM interno y VSM con cliente. Para este caso en específico, se trabajará con un VSM interno, para identificar las oportunidades de mejora dentro del proceso productivo de la empresa Morinjic que incluye los procesos de: recepción, procesamiento, empaque y almacenamiento. Para la construcción del VSM de acuerdo con (Paredes Rodríguez, 2017) se toman en cuenta cinco pasos: 1. Dibujo del estado actual, 2. Medición de indicadores, 3. Identificación de problemas, 4. Selección de técnicas para la mejora del proceso, 5. Dibujo del estado futuro. Mientras que para (Socconini, 2013) el VSM puede aplicarse en cuatro pasos: establecer familias de productos (1), crear el mapa de valor actual (2), crear el mapa de valor futuro (3), realizar mejoras mediante la aplicación de eventos Kaizen (4).

Value Stream Mapping o mapeo de cadena de valor (VSM) es una herramienta de gestión Lean Manufacturing que utiliza símbolos, métricas y flechas para mostrar y mejorar el flujo de inventario y de información requerida para generar un producto o servicio que se entrega a un consumidor, buscando que éste solo pague las actividades que le generan valor al producto. El caso de estudio se centra en una empresa veracruzana, empresa agroindustrial que se dedica a maquilar hojas de *Moringa oleífera*. La compañía actualmente empaqueta tres presentaciones distintas: cápsulas, hojas para té y hoja triturada como enriquecedor alimenticio. Para maquilar estos productos toma como base la hoja seca de *Moringa oleífera* y dependiendo del producto, es cómo los procesos se desarrollan de manera diferente.

La *Moringa oleífera* es un árbol originario de la India al que se le atribuyen múltiples beneficios para el bienestar humano. Es de crecimiento rápido, de relativamente poca exigencia hacia el suelo y se cultiva en toda la franja intertropical (Martín Et al, 2013). La *Moringa oleífera* es una planta que se utiliza como materia prima en diferentes industrias, como la alimentaria, farmacéutica y cosmética (Gómez Mitjans et al, 2016). Sus propiedades terapéuticas potencian su uso en el tratamiento de más de 300 enfermedades y de acuerdo con la literatura presentada, el aprovechamiento de la moringa es total, ya que incluye no solo el follaje si no todas las partes del árbol, entre las que se destacan: semillas, vástago, raíces, corteza, hojas, tallos y brotes (Toral et al, 2013). El aprovechamiento de las hojas de la planta para su comercialización en cápsulas de 5 gramos permite enmarcar el proyecto en el sector de la nutrición y la agroindustria.

El proyecto busca procesar al menos tres toneladas de *Moringa oleífera* de acuerdo con las necesidades de los clientes y los mercados potenciales. En la actualidad la empresa está constituida formalmente, cuenta con un sembradío de dos hectáreas en el Ejido Mata Novillo, donde se cosechan las hojas (materia prima) y se secan mediante la utilización de energías renovables (energía solar indirecta a través de bastidores), este proceso toma un tiempo de cuatro días en condiciones normales y favorables, lo que significa que en periodos nublados o lluviosos puede prolongarse hasta seis días. Una vez deshidratada la materia prima, se transporta hacia las instalaciones de la empresa donde se recibe. En el proceso de recepción se pesa la materia prima y se coloca una etiqueta para la identificación del lote y fecha de recepción, una vez identificada la materia prima se almacena en anaqueles. Para procesar la materia prima la empresa cuenta con dos áreas, un área donde se selecciona e inspecciona la materia prima, en esta área se pulverizan las hojas, la otra área se define como área estéril, en esta área se prepara la materia prima para su proceso de pulverizado y en esta misma área se mantiene el pulverizado de la hoja de moringa (producto) en un ambiente controlado, en esta misma área se realizan las operaciones de encapsulado, y envasado de las píldoras de *Moringa oleífera*.

En general el proceso de transformación de la materia prima es un proceso artesanal, y forma parte del distintivo genérico de la empresa. En este sentido, la capacidad actual instalada de la empresa permite la elaboración de 1500 cápsulas en una hora de trabajo a un ritmo normal y de acuerdo con la expertís de las operadoras

encargadas de este proceso. Lo que sugiere que un turno normal de 8 horas y considerando un ritmo constante de trabajo se podría esperar 120 frascos en presentación de 100 unidades. Es decir, si la empresa quisiera aumentar la capacidad productiva, necesitaría la contratación de más personal y tecnología para poder incrementar sus niveles de producción.

En cuanto a las instalaciones y las reglamentaciones necesarias para trabajar en espacios cerrados, en el recorrido se visualizan actividades concernientes a las buenas prácticas de manufactura, la empresa no cuenta con documentación relacionada con estas actividades, así mismo, no hay evidencia de procedimientos establecidos que permitan garantizar la repetibilidad y reproducibilidad tanto de las operaciones como de las actividades que realizan las operadoras. El pulverizado de la hoja de *Moringa oleifera* es la materia prima principal, con el sistema de producción actual con el que opera la organización se tiene un promedio de dos meses inventario tanto de materia prima, material en proceso y producto terminado, además de tener la maquinaria distribuida por áreas de trabajo, desde la recepción de la materia prima, pasando al área de pulverizado, sanitizado, etc. Lo cual da como consecuencia que el sistema que se tiene es trabajo por lotes. Para la elaboración de este proyecto toda la información y datos requeridos fueron tomados de la compañía Morinjic, empresa que pertenece al sector de alimentos, cuyo giro principal es el procesamiento de la hoja de *Moringa oleifera*. Los principales que allí se fabrican son: Cápsulas de moringa de 5 gramos en presentación de 100 unidades, Moringa triturada para té en presentación de 50 gramos y enriquecedor alimenticio en frasco de 30 gramos.

Actualmente, la empresa fabrica el 100% del producto para mercados locales, pero la empresa tiene la inquietud de poder exportar su producto a otros países, entre los que se destaca Alemania y algunos otros de la Unión Europea. Ante esta necesidad es necesario plantear alternativas al proceso productivo actual que permita mejorar su eficiencia y eficacia, de tal forma que se incremente el nivel de productividad actual. Por lo tanto, el desarrollo de VSM para la empresa Morinjic permitirá la identificación de eliminar las actividades que no agregan valor al producto y maximizar su productividad como una herramienta de mejora continua.

El presente estudio trata del proceso de producción por solicitud directa de la empresa, un área crucial y problemática en la producción de la línea de *Moringa oleifera* en polvos y a su vez un proceso vital para la empresa, teniendo en cuenta la producción de línea. En este proceso se han observado problemas tales como: 1. Dosificación del producto inexacta ya que el operario tiene que calcular la cantidad deseada del producto manualmente por bolsa. 2. Pérdida de tiempo ya que constantemente tienen que reubicar el producto empacado para realizar procesos como verificación de peso, sellamiento y estibación. 3. Subutilización de personal, ya que al ser un proceso parcialmente manual es necesario tener varios operarios, que podrían estar haciendo otras tareas en la planta. Algunas presentaciones tienden a tener una baja densidad ocupando un mayor volumen que las que tienen una alta densidad, por esto al empacar, se le asigna un determinado tamaño de caja, pero el mismo tamaño de bolsa y a veces el producto puede quedar empacado al borde de la bolsa, como puede que quede sobrando espacio en ella. De manera que el problema va desde el procesamiento, proceso de empaque del producto hasta el resultado final del producto. Así las cosas, es preciso anotar que actualmente el proceso productivo en la empresa es inadecuado, toda vez que genera pérdida de tiempo y provoca deficiencias. En ese orden de ideas, el presente estudio diseñará una solución viable a los problemas planteados mejorando el tiempo y la calidad del proceso productivo. Sin duda, esta investigación representa un aporte importante en la preparación para el ejercicio profesional del ingeniero industrial, dado que permite aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera por ser un caso práctico que afianza la formación y la experiencia. Además, redundará en el mejoramiento de los procesos de producción de la empresa Morinjic, la cual en consonancia con esta investigación se busca la mejora de los procesos, tiene como estrategia el establecimiento de un sistema de mejora continua para conseguir su objetivo. Mediante la aplicación del VSM, se pretende demostrar que la metodología es útil para reducir los tiempos de respuesta a clientes y mejorar considerablemente la calidad de los productos al eliminar las actividades que no agregan valor al producto.

2. Desarrollo

Para el desarrollo de este artículo la metodología seguida es la propuesta por (Socconini, 2013) el VSM puede aplicarse en cuatro pasos: establecer familias de productos (1), crear el mapa de valor actual (2), crear el mapa de valor futuro (3), realizar mejoras mediante la aplicación de eventos Kaizen (4).

2.1 Establecer familias de productos. De acuerdo con la metodología establecer la familia de productos consiste en enlistar todos los números de parte e indicar las operaciones por las que pasa un producto, así como anotar el tiempo de ciclo para cada operación. Entiéndase como tiempo de ciclo al tiempo que transcurre desde que inicia una operación hasta que termina. En la tabla 1 se muestran las familias de productos para la empresa

Morinjic, y se puede apreciar las tres familias de productos específicas (cápsulas, enriquecedor alimenticio y hojas para té), en este caso se resalta que el producto que mas se vende son las cápsulas en presentación de 100 unidades.

Productos	Presentación
Cápsulas de moringa (30)	30 cápsulas
Cápsulas de moringa (60)	60 cápsulas
Cápsulas de moringa (100)	100 cápsulas
Enriquecedor alimenticio	30 gramos
Hojas para té	30 gramos

Tabla 1. Familias de productos

2.2 Crear el mapa de valor actual.

Se debe aclarar que el primer paso que definen los referentes es la construcción de un VSM que bosqueja la situación actual, mas no definen las actividades que se deben llevar a cabo para realizar este proceso; por tal motivo, para lograr desarrollar este primer punto se utilizarán las pautas del libro Mapping The Total Value Stream desarrollado por (Nash & Poling, 2011), la cual consiste en los pasos descritos a continuación.

2.3 Descripción del proceso

Se hace el levantamiento y descripción de las actividades que se realizan actualmente en el proceso como ya se había mencionado, la hoja de *Moringa oleifera* es vital para el proceso de la compañía, ya que sin esta materia prima no se podría entregar al cliente el producto deseado. Se debe aclarar que el proceso que se va a tratar en este documento es no presentar diferencias en cuanto al suministro de la hoja de moringa, ya que procede del mismo rancho, que es propiedad del dueño de la empresa y que es quien una vez que el producto está disponible para procesarse, se entrega directamente en las instalaciones de la empresa. En este documento se analiza la cadena de valor desde que se recibe el producto, hasta que se empaca, pasando por los procesos dependiendo del producto final. Para lograr la correcta descripción de las actividades, se ocupó la entrevista directamente con los encargados del proceso, que mediante su experiencia proporcionaron la información para la documentación general y que de manera explícita ayudaron para la construcción de los diagramas de flujo de cada una de los tres procesos principales: encapsulado, hojas para té y enriquecedor alimenticio. A continuación se presenta el resultado y la descripción de cada una de las actividades del proceso.

Recepción. Se refiere al proceso de recibir la materia prima que viene del proveedor, en este proceso solo se pesa, se inspecciona de manera inicial, pero se recibe todo el producto tal cual llega de la huerta, se etiqueta y se almacena temporalmente hasta que la materia prima es utilizada para la producción.

Inspección. Cuando el producto se necesita para la producción de cápsulas, hojas para té o enriquecedor alimenticio, se inspecciona el producto para que cumpla con los requerimientos del proceso. La inspección se entiende como retirar la cascarilla, hojas secas, pedazos de ramas del producto, y toda aquella imperfección que la materia prima traiga del proceso de secado en el huerto.

Sanitizado. Esta etapa es fundamental en el proceso y se refiere a la inocuidad que la hoja de moringa tiene que tener, así como retirar el exceso de humedad que presenten las hojas. En este caso el proceso de sanitizado no solo se refiere a mantener las condiciones necesarias para que las hojas se procesen, sino establecer un estándar para que entre al proceso de molienda. En esta etapa, las hojas se pasan por un proceso de deshidratado a través de aplicación de calor y mantener en ambiente estéril el producto, en un espacio libre de contaminantes externos.

Molienda. El proceso de molienda solo se aplica para dos procesos el del enriquecedor alimenticio y el de encapsulado. La molienda consiste en procesar la hoja de moringa a través de diferentes tamizados para obtener un granulado específico, pero no se han definido tolerancias de aceptación. En el caso del encapsulado se repite el proceso hasta obtener los resultados deseados. En este sentido, el proceso depende en gran medida de la expertís del operador y no hay un proceso documentado, ni controles establecidos para la aceptación o rechazo del producto. Es decir, los criterios de aceptación o rechazo los define el operador, y su experiencia para pasar a la siguiente operación.

Encapsulado. Proceso mediante el cual se encapsula el polvo obtenido en el proceso de molienda y por el cual se encapsulan lotes de 200 cápsulas. Este proceso está definido por la empresa como manual, y el operador es quien se encarga de ejecutarlo, al finalizar el encapsulado se hace un muestreo por aceptación mediante el pesaje de las cápsulas de manera individual y que deben pesar 5 gramos, en caso de que la muestra de 10 cápsulas tomadas al azar del lote no pesen esta cantidad, se reprocesan.

Envase. Se hace de manera manual y se colocan en diferentes presentaciones: 30 cápsulas, 60 cápsulas y 100 cápsulas en envases plásticos.

Empaque. Cada caja alberga 30 frascos que conforman la caja para su almacenaje.

2.4 Determinación del tiempo de ciclo del proceso

Una vez definidas las actividades del proceso, se procedió al estudio de tiempos de las actividades que involucra el proceso con el objetivo de identificar cuál es el tiempo de ciclo del procesamiento de las cápsulas dentro de la compañía. Antes de comenzar a realizar el estudio, se definió una unidad de medida para éste (piezas/segundo). Esta unidad de medida también será con la que se construirá el VSM actual de la compañía. La estrategia desarrollada para encontrar esa muestra representativa en la elaboración de cápsulas de *Moringa oleifera* consistió en dos pasos principalmente: El primer paso consistió en la identificación del produla muestra de 10 cápsulas tomadas al azar del lote no peseue de acuerdo con los reportes de venta proporcionados por el dueño del negocio son las cápsulas de *Moringa oleifera*, en segundo lugar las hojas para té y por último, el enriquecedor alimenticio. Esto además de apoyarse en el programa de producción que la compañía tiene y que es coincidente con la fabricación de cápsulas por su alta demanda. El segundo paso permitió identificar las actividades y materiales necesarios para la elaboración de las cápsulas de *Moringa oleifera* mediante el Billete de materiales (BOM por sus siglas en inglés). El BOM del producto se muestra en **la imagen 1**. En la imagen 1 se muestra de manera gráfica los componentes necesarios para la realización de una pieza (cápsula) lo que permite estimar la cantidad de materia prima y componentes necesarios para la programación de la demanda, de acuerdo con las necesidades y requerimientos de los clientes.

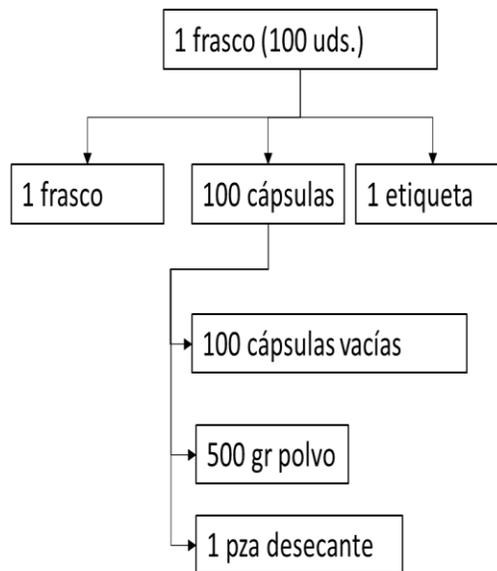


Imagen 1. BOM para el encapsulado de *Moringa oleifera*

Para el caso de estudio y en apego al teorema del límite central se tomó la decisión de observar el proceso durante un turno de 8 horas y realizar la toma de tiempos para el proceso para el procesamiento de un lote de 200 cápsulas que está definido por la capacidad de la encapsuladora, por lo que el tiempo total se dividió entre 200 cápsulas para tomar el tiempo promedio. En la tabla 2 se muestra el tiempo de ciclo para el procesamiento de cápsulas de *Moringa oleifera*.

No.	Actividad	Tiempo (segundos)
1	Recepción	1800
2	Inspección	1200
3	Sanitizado	30
4	Molienda	3600
5	Encapsulado	28800
6	Envase	3600
7	Empaque	3600
Total		42730

Tabla 2. Tiempo de ciclo para el procesamiento de cápsulas de *Moringa oleífera*.

2.5 VSM de la situación actual

Una vez determinado el tiempo de ciclo en las observaciones dentro del turno de las 8 horas y representar cada una de las etapas del proceso, se procede a la construcción del VSM de la situación actual. Para la construcción del VSM se hizo uso del software libre eVSM® el cual permite el trazado de cada una de las operaciones y donde se representan cada una de las actividades descritas en el proceso de la tabla 1.

En la figura 2. se muestra el VSM de la situación actual, así mismo se logra apreciar que la empresa Morinjic es la encargada de emitir las órdenes de compra a la granja donde se cultiva la hoja de *Moringa oleífera* y a su vez emite las especificaciones y cantidades necesarias de empaque al departamento de adquisiciones, lo mismo que las ordenes de trabajo (*work orders* por sus siglas en inglés) al área de producción (cliente interno). De manera general el VSM describe el comportamiento del sistema desde el proveedor hasta el área de empaque de la compañía, y se representa de manera simbólica el envío a los clientes que son los que emiten los pedidos a la compañía.

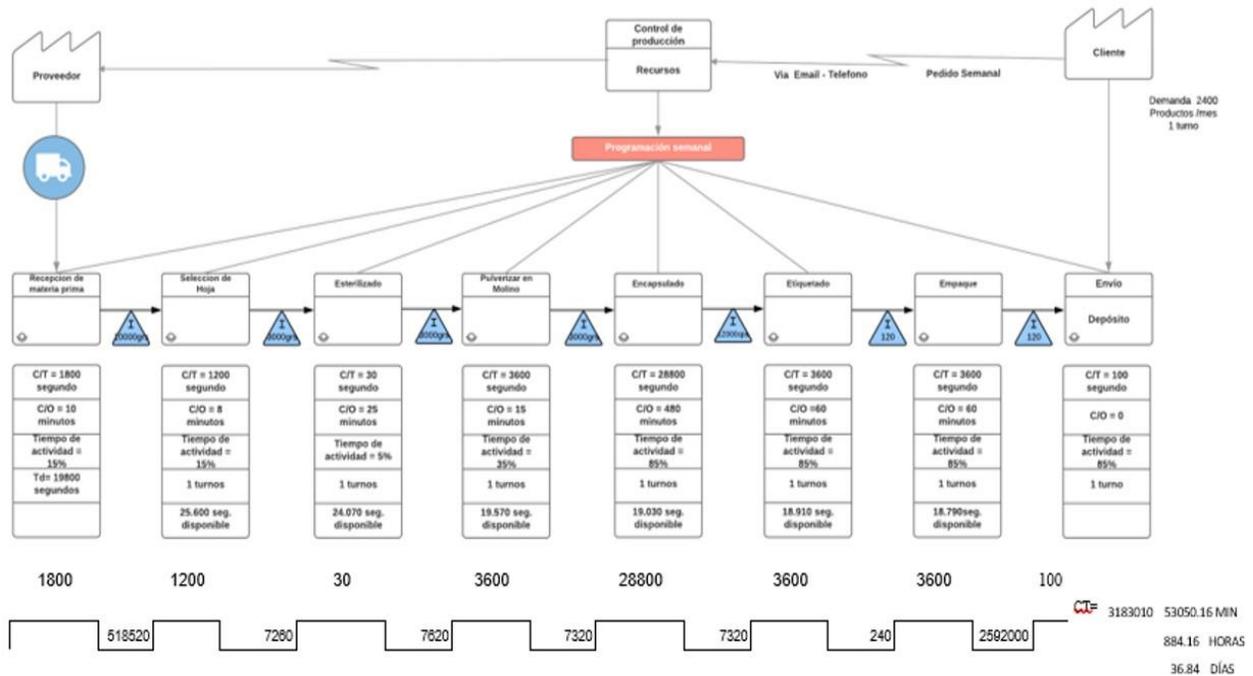


Figura 2. VSM de la situación actual

2.6 Medición de indicadores

El estado de la situación actual no estaría completo sin desarrollar y explicar tres conceptos específicos: la capacidad efectiva (*effective capacity*), el tiempo de ciclo (*cycle time*) y el tiempo tack (*tack time*)

- **Capacidad efectiva:** Es la capacidad que una empresa espera alcanzar dadas las restricciones de operaciones existentes. A partir de este indicador, se calcula la eficiencia del proceso.
- **Tiempo de ciclo:** Es el tiempo promedio entre la producción de dos unidades consecutivas
- **Tiempo takt:** Es el máximo tiempo de ciclo permitido para producir un elemento y poder cumplir la demanda. La situación ideal es que el *takt time* sea igual al tiempo de ciclo, de lo contrario se puede incurrir en costos de faltantes o sobreproducción.

2.6.1 Identificación de problemas en el proceso actual

El estudio de tiempos no solo se convirtió en una herramienta para medir el tiempo de ciclo del proceso, sino que también se consolidó como una forma de ver todo el sistema y poder encontrar oportunidades de mejora dentro de éste. Luego de la observación del proceso, se encontraron cuatro problemas principales que afectaban el desempeño del sistema. A continuación se menciona cada uno de estos:

2.6.2 Carencia de un sistema de control de inventario en la etapa de recepción

Cuando se llevó a cabo la toma de tiempo para el estudio, se logró evidenciar un hecho, en la etapa de recepción, que se repite continuamente: la persona que descarga las hojas de *Moringa oleífera* abre las bolsas para inspeccionar el producto, después lo sella, pero no etiqueta el producto con las características propias de la inspección, sino que solo lo separa, lo que provoca que éste pare el proceso para recorrer la bodega en busca de insumos tan necesarios para esta etapa. Falta de un área definida para el almacenamiento temporal de la materia prima, esto provoca que la materia prima se deje en un lugar en espera de que los componentes que faltan arriben a la bodega. El problema consiste en que esta área de almacenamiento temporal es seleccionada aleatoriamente y no tiene un lugar fijo dentro de la bodega, lo que ocasiona desorden y movimientos innecesarios para el operario encargado de la fase de unificación.

2.6.3 El proceso de pulverizado

El proceso de pulverizado tiene su razón de ser para dos productos de manera particular: el enriquecedor alimenticio y el encapsulado. Para el primero se necesita un granulado grueso, mientras que para el encapsulado uno totalmente fino, por lo que la experiencia del operador es lo que define la calidad del producto a procesarse. En este sentido, no se cuenta con un proceso de separación de la materia prima (hojas de *Moringa oleífera*) simplemente todo se aprovecha y se pasa al proceso de molienda y pulverizado, sin embargo el hecho de que las hojas de moringa vengan en diferentes densidades y partículas (diferentes tamaños) hace que el resultado de la molienda no tenga un resultado uniforme y se tenga que procesar y reprocesar hasta que el criterio de aceptación del operador lo define como aceptable. Por lo que el proceso aun cuando se apoya de maquinaria, sigue dependiendo de criterios cualitativos de aceptación.

2.7 Crear el mapa de valor futuro.

La propuesta del VSM futuro está en función de la decisión del productor y en este momento aún no ha sido revisado, por lo que no se coloca la propuesta hasta que no se tenga la aprobación del productor.

2.8 Crear mejoras a través de eventos kaizen.

Los eventos kaizen o de mejora continua a partir de la visualización del proceso mediante el VSM no solo permitió tener una idea clara de todos los procesos que agregan valor al producto, sino de identificar aquellas actividades que no agregan valor y que de manera general se resumen a continuación.

Evento kaizen 1. Recepción de materia prima

En cuanto a la actividad de recepción de materia prima al no existir la aceptación de toda la materia prima y con contar con un sistema que permita la garantía de la vida útil del producto antes de que se ingrese a la línea productiva. La acción necesaria consiste en colocar una etiqueta para la identificación del lote y fecha de recepción para iniciar el proceso de trazabilidad. De tal manera que se tenga el historial del producto y garantizar al cliente todo el valor agregado que éste sufre al pasar por el proceso productivo y que permita mediante requisitos normativos decidir la mejor forma de manejar el producto y su inocuidad.

Evento kaizen 2. Selección de materia prima

En el proceso de selección de materia prima usan equipo de protección personal y el método es manual, mediante el criterio del operador, con forme a los criterios que ellos consideran importantes. Debido a que no hay evidencia de un mecanismo que permita contrastar la expertís del operador contra un método establecido. Este proceso se basa en la experiencia de los operadores, sin embargo por la rotación existente de personal, y al no haber un método documentado para llevar a cabo esta actividad, se propuso la elaboración de procedimientos documentados para generar los críticos de calidad (CTQ's) del proceso. Así mismo, es necesario estableces un análisis del sistema de medición para asegurar que los inspectores tengan los mismos criterios de aceptación de acuerdo con un estándar establecido (MSA por sus siglas en inglés).

Evento kaizen 3. Proceso de triturado

En el proceso de triturado participa un operador que con la ayuda de un molido y diferentes tamizados se procesan las hojas de *Moringa oleífera*, sin embargo al no contar con un sistema que permita saber cuál es el triturado adecuado de acuerdo con el producto, se basan en la experiencia del operador y del supervisor de producción, en este sentido la realización de procedimientos para generar críticos de calidad, y un método para determinar el granulado con máximos y mínimos de aceptación (estándares de calidad), este evento es determinante para garantizar la calidad y uniformidad del producto.

Evento kaizen 4. Área Estéril

El área estéril es fundamental para la fase final del proceso, porque es donde se sanitizan los equipos, y materiales necesarios para el procesamiento de hojas de *Moringa oleífera* y de manera específica en el encapsulado. Si bien es cierto que esta área de esterilización no le agrega valor al producto, es necesario para garantizar la inocuidad del producto, en otras palabras es un requerimiento del proceso de carácter técnico. Actualmente se utiliza equipo de protección para poder ingresar al área y permanecer en esta área, sin embargo no existe evidencia, sino solo bitácoras donde se registra el estado actual y las personas que ingresan para mantener un ambiente controlado. Por lo que se propone la adopción de buenas prácticas de manufactura (BPM) para ambientes controlados.

3. Resultados

El desarrollo del VSM permitió representar el proceso de encapsulado en términos reales de las actividades productivas, y de aquellas que no agregan valor al producto entre los que se destacan el almacenamiento, y el transporte o demoras que el proceso actualmente tiene y se determinó que el proceso actual para producir un lote de 200 cápsulas se lleva un tiempo de 36.84 días.

El VSM actual muestra que las actividades que agregan valor solo consumen un tiempo de 11.86 días, comparado contra las actividades que no agregan valor de 36.84, equivalen a un tiempo efectivo de 32.19% del tiempo que pasa el producto para realizar un lote de 200 cápsulas.

El VSM muestra que hay que trabajar en las actividades que no agregan valor, específicamente en trasporte y almacenamiento para reducir el tiempo de ciclo y poder utilizar de manera eficiente los recursos actualmente disponibles.

4. Conclusiones

La implementación de la herramienta de *Value Stream Mapping* permitió mostrar a la alta gerencia cómo se desempeñaba uno de los procesos más críticos dentro de la compañía y con esa base ver el comportamiento del sistema de una forma global y no por partes. Al identificar el comportamiento y las relaciones subyacentes dentro del proceso, se logró establecer un plan de acción que actualmente se encuentra en ejecución y que en corto tiempo ha entregado ahorros considerables a la compañía. Además, las mejoras propuestas se han convertido en herramientas fáciles de aprender y que les han mostrado a los encargados del proceso cómo debe ser la manera correcta en la que debe funcionar el sistema y cuál es la forma de actuar en ocasiones de crisis. Entre las técnicas desarrolladas y que han evidenciado excelente resultados se encuentra la aplicación de un sistema de 5S, con el que se logró tener una bodega limpia y ordenada, asimismo se espera que la idea de controlar el inventario se tenga un efecto positivo en los encargados del proceso y provoque un ahorro en tiempo y dinero para la compañía

5. Referencias

- Arroyave Loaiza, G., Isaza Nieto, P., & Jarrillo Soto, E. C. (1993). Análisis de Sensibilidad en los Proyectos de inversión en Salud. *Salud pública de México*, 318-327.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de Proyectos*. México, D.F.: Mc GrawHill.
- Calidad, C. &. (17 de Julio de 2013). *Consultoría en crecimiento de Pymes y Empresas Familiares*. Recuperado el 17 de Octubre de 2014, de <http://www.clasec.net/como-hacer-presupuestos-parte-3-presupuesto-de-inversiones/>
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Principios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Nash, M. A., & Poling, S. R. (2011). *NASH, Mark A.; POLING, Sheila R. Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes*.
- Paredes Rodríguez, A. (2017). Application of Value Stream Mapping tool to a company packing glass products. *Entramado*, 13(1), 262-277.
- Rajadell, M., & Sánchez, J. (2010). *Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad*. España: Díaz de Santos.
- Socconini, L. (2013). *Lean Manufacturing*. Tlalnepantla, Estado de México.: Norma.
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo Cota, E. (2008). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. México, D.F.: Limusa.
- Villaseñor Contreras, A., & Galindo Cota, E. (2009). *Manual de Lean Manufacturing. Guía básica*. México, D.F.: Limusa.

6. Notas Biográficas

Luis Enrique García Santamaría es estudiante de postgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

Ing. Elizabeth Delfin Portela, actualmente es estudiante de postgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, es ISCpor el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México.

Dr. Juan Manuel Carrión Delgado, actualmente se desempeña como profesor investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.

Fabiola Sánchez Galván, Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Profesor Investigador en el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca.

Lic. Graciela Elizabeth Nani González, es estudiante de postgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico Superior de Tantoyuca, profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca a la Ing. Luis Enrique García Santamaría para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Detección de la enfermedad “Mancha de hierro” en hojas del cafeto utilizando Redes Neuronales Convolucionales

Balzhozt Roldán Ortega, ISC¹., Cecilia Irene Loeza Mejía, ITICS²., Rajesh Roshan Biswal, Dr³.

¹ Balzhozt Roldán Ortega, es estudiante de la maestría en Sistemas Computacionales con línea de investigación en Cómputo Inteligente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Misantla, Veracruz. balzhozt@gmail.com

² Cecilia Irene Loeza Mejía es estudiante de la maestría en Sistemas Computacionales con línea de investigación en Cómputo Inteligente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Misantla, Veracruz. cecilialoeza@yahoo.com

³ El Doctor en Ciencias, Rajesh Roshan Biswal es profesor investigador y consultor en matemática y ciencia de datos en el ITESM Campus Guadalajara. Guadalajara Jalisco. rroshanb@tec.mx

Resumen— La producción del café es una de las principales fuentes de ingresos principalmente en países en vías de desarrollo, pero ésta producción puede ser mermada por la presencia de enfermedades en las fincas cafetaleras, trayendo consigo, pérdidas considerables en la economía local. Se sabe que la mancha de hierro es una de tantas enfermedades, y que para hacer un diagnóstico se requiere de personal experto. En este artículo se hace una propuesta de usar Redes Neuronales Convolucionales, para poder generar un modelo clasificador y poder detectar la enfermedad, con tan solo imágenes de las hojas de café. Los resultados que se obtuvieron de 96.80% y 90.65% en la precisión de entrenamiento y validación del modelo propuesto, nos indican que es posible generar dicho modelo y concluir que es viable desarrollar una herramienta que ayude a los cafecultores a actuar en tiempo y forma cuando se presenten indicios de la enfermedad Mancha de Hierro.

Palabra(s) clave—Enfermedad, Mancha de Hierro, Café, Redes Neuronales Convolucionales.

Abstract – Coffee production is one of the main sources of income mainly in developing countries, but this production can be reduced by the presence of diseases that could occur on coffee farms bringing with them, losses considerable in the local economy. Iron stain is known to be one of many causing diseases, and that making a diagnosis requires expert staff. This article makes a proposal to use Convolutional Neural Networks, to be able to generate a classifying model and be able to detect the disease, with only images of the coffee leaves. The results obtained from 96.80% and 90.65% in the training accuracy and validation of the proposed model, indicate that it is possible to generate such a model and conclude that it is feasible to develop a tool that helps coffee growers to act in time and form when evidence of Iron Stain disease is present.

Key words – Disease, Iron Stain, Coffee, Convolutional Neural Networks.

1. Introducción

En el mundo en desarrollo, más del 80% de la producción agrícola es generada por pequeños agricultores (Tai, Martin, & Heald, 2014), y las pérdidas de rendimiento de más del 50% debido a plagas y enfermedades son más comunes cada día (Harvey et al., 2014). Además, se cree que el 50% de personas con problemas de pobreza y hambruna, vive en estas zonas productivas (Sanchez & Swaminathan, 2005), lo que hace que los pequeños agricultores sean un grupo particularmente vulnerable a situaciones precarias económicamente.

El café es un producto importante en la economía mundial, más importante en los países en vías de desarrollo ya que es una de las principales fuentes de divisas. Marcos Gottfried, director general de Expo Café 2017, dijo que en el periodo 2016-2017, México se colocó como el onceavo productor de café a nivel mundial, con 1.6% de la producción global y en el doceavo lugar a nivel internacional como exportador.

En México, la cafecultora es importante por el número de productores que se dedican a ella, en año 2017 se registró la participación de 500 mil cafecultores en todo el país, y es aquí donde radica desde el punto de vista social, la importancia del café, además de que considerando las familias de estos grupos y las del personal ligado a la transformación y comercialización del grano, alrededor de 3 millones de mexicanos dependen del café en algún grado. Este cultivo se encuentra actualmente en 484 municipios del país; 74 de ellos generan 70% de la producción nacional (Alimentaria, 2018).

Para aumentar la producción, es necesario que el productor tenga buenas prácticas fitosanitarias, ya que las enfermedades pueden traer pérdidas considerables a la productividad. Una de las enfermedades es “Mancha de hierro”, causada por el hongo *Cercospora coffeicola*, que ataca las hojas y los frutos del café en cualquier fase de crecimiento ocasionando pequeñas manchas redondas de color pardo claro o rojizo que terminan por defoliar la planta y afectar el crecimiento del fruto (Guzmán Piedrahita & Rivillas Osorio, 2007). Esta plaga puede disminuir la productividad de 40-50% de la producción y causar la contracción del 30-40% del peso de los granos de café (Guzmán et al., 2003).

Existen metodologías tradicionales para hacer la evaluación de la enfermedad, que se basan principalmente en la observación del experto, es por eso que en este documento se pretende que con la ayuda de las Redes Neuronales Convolucionales en el reconocimiento de patrones se pueda entrenar un modelo clasificador y posteriormente determinar si existe presencia de la enfermedad cuando se le suministre una nueva muestra.

En la literatura ya hay trabajos relacionados, como por ejemplo el de (Mohanty, Hughes, & Salathé, 2016), donde realizó 60 experimentos usando redes neuronales convolucionales profunda para identificar 14 especies de cultivos y 26 enfermedades, utilizando modelos entrenados como AlexNet (Jansen & Zhang, 2007) y GoogleNet (Zeng et al., 2016) con el conjunto de datos de PlantVillage de 54,306 imágenes que contienen 38 clases de 14 especies de cultivos y 26 enfermedades (o su ausencia), logrando una precisión máxima del 99.35%. Otro trabajo que también utilizó Arquitectura ya entrenadas fue el de (Khan, n, Shaikh, Ansari, & Ansari, 2019), para clasificar enfermedades del tomate, donde obtuvieron 32.23% usando la arquitectura AlexNetOWTBn y 33.27% para VGG16 (Simonyan & Zisserman, 2014). También (Ashqar & Abu-naser, 2018), quienes realizaron un estudio que consistió en analizar 9000 imágenes de hojas de tomate, para producir un modelo con el propósito de identificar 5 tipos de enfermedades, donde obtuvieron resultados del 99.84% en precisión. Otro equipo como el de (Arnal Barbedo, 2019), trabajó con redes neuronales convolucionales aplicándolas en el análisis de varios cultivos, buscando niveles de enfermedad en las plantas, pudiendo clasificar a cultivos sanos con un 89% de precisión, ligeramente enfermos con un 31%, moderadamente enfermos 87% y gravemente enfermos con un 94%.

Como se puede notar, existe un interés de varios autores por encontrar nuevas formas para detectar enfermedades en las hojas, haciendo que se justifique el uso de las redes neuronal convolucionales por su eficiencia en la detección de la enfermedad. Para este caso de estudio, se concentra en la mancha de hierro que afecta a las hojas del café.

2. Desarrollo

Para llevar a cabo este trabajo de estudio, se siguió la metodología que se muestra en la figura 1. Donde primero se realizó la adquisición de las imágenes del conjunto de datos, luego se le hizo un preprocesamiento a las imágenes para que la ejecución del algoritmo fuera más eficiente y luego se probó la efectividad del modelo clasificador. A continuación, se describirán las etapas de la metodología.

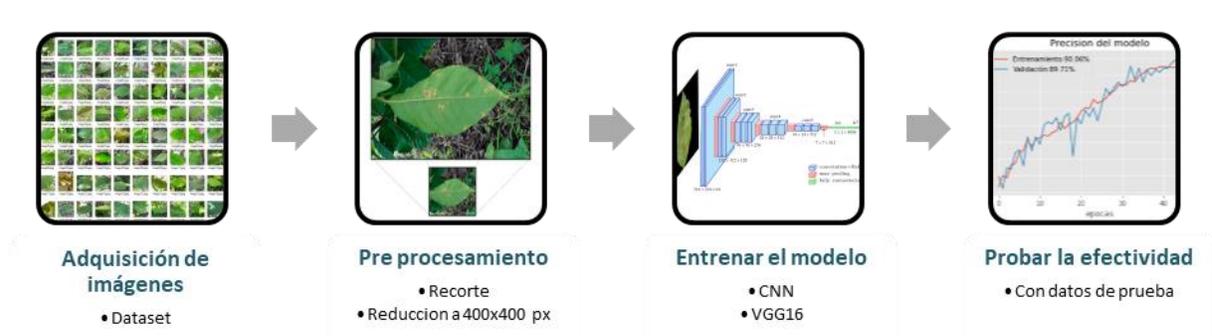


Figura 4: Metodología

Adquisición de imágenes:

Para este experimento se utilizó el dataset de imágenes “RoCoLe: A robusta coffee leaf images dataset” (ParragaAlava, Cusme, Loor, & Santander, 2019). Dicho conjunto de datos está conformado por 770 imágenes de hojas que presentan signos de la enfermedad mancha de hierro y 792 que no presentan la enfermedad.

Pre procesamiento:

Se aplicó un recorte de imagen a todo el lote, con el objetivo de centrar el área a analizar y disminuir el ruido en el entrenamiento, además se redujo el número de pixeles que estaban en el rango de (2048 x 1152 - 4128 x 2322) a unas imágenes con resolución más manejable de 400 x 400 pixeles.

Comúnmente en ésta etapa, también se hace extracción de características, pero al trabajar con redes neuronales convolucionales, se hace prescindible éste paso, ya que la propia red aprende a extraerlas a través de sus capas convolucionales, creándose en ella los filtros requeridos para cada una de las características que definen a la clase, en este caso, los patrones de la enfermedad.

Entrenar el Modelo:

Para la obtención del modelo clasificador, se realizaron pruebas para buscar el modelo más óptimo y que se ajustara a los objetivos planteados. En primer lugar, se usó la técnica de transferencia de aprendizaje, que consiste en tomar una red pre entrenada, en este caso la VGG16, desmontar su estructura en capas separadas y luego volver a ensamblar con nuestras propias capas, pero siempre conservando los pesos pre entrenados de la red. En este caso se eliminó su última capa y posteriormente se ensambló la capa con la configuración propuesta para solo dos posibles resultados como se muestra en la Figura 2. En segundo lugar, se diseñó una arquitectura propia llamada cafezh con estructura como se observa en la Figura 3, donde se realizaron varias pruebas de optimizadores para ver cuál daba mejor resultado. Los optimizadores que se pusieron a prueba fueron: SGD, Adam, Adamax y Adadelta, todos ellos con sus valores predeterminados, tal como están configurados en Tensorflow (Dignam, Martin, Shastry, & Roeder, 1983).

Los valores iniciales fueron:

- Entrada = lote de imágenes de 224x224 pixeles para la VGG16 y 256x256 para la arquitectura propuesta.
- Número de imágenes que se consideran para el entrenamiento =1275.
- Número de imágenes que se utilizan en la validación = 311.
- Número de veces que se ejecutará la red sobre el conjunto de entrenamiento antes de empezar con la validación = 5 épocas.
- Aplicación de la técnica aumento de datos in situ para el entrenamiento.

El equipo en el que se realizaron las pruebas tiene las siguientes características:

- Sistema Operativo Windows 10
- Procesador Intel i7 6ª generación.
- Memoria RAM 16384 MB
- Tarjeta Gráfica NVIDIA GeForce GTX 1070, 8192 MB, GDDR5.
- Python 3.7.4, Tensorflow-gpu 1.14, Keras-gpu 2.2.4.

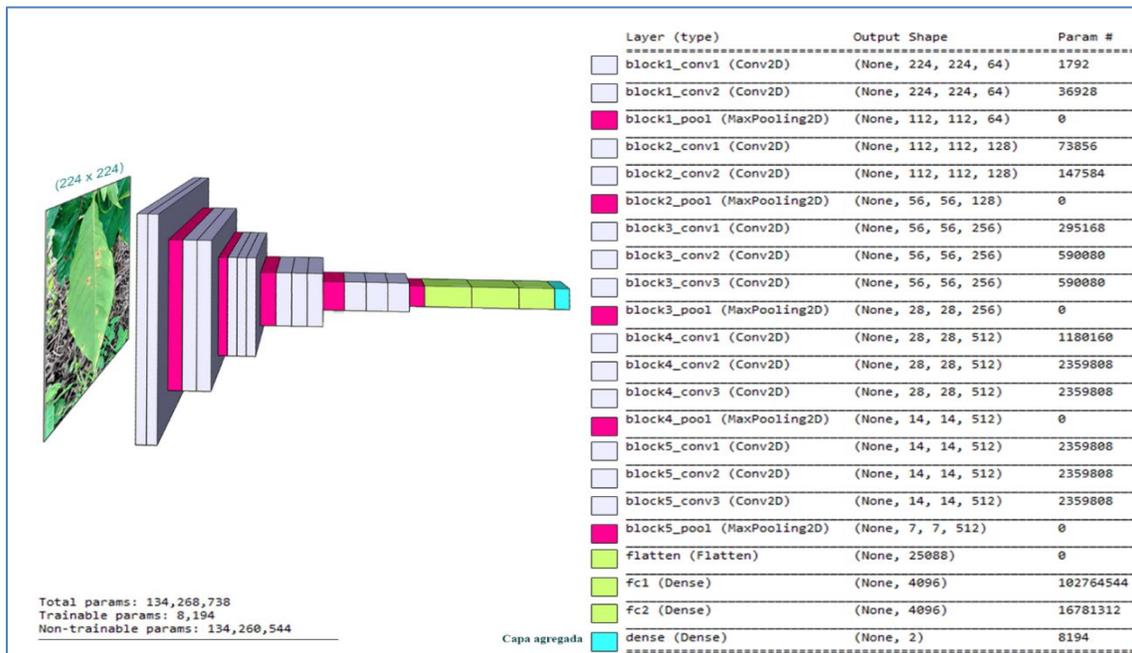


Figura 5: Arquitectura VGG16 usada para la transferencia de aprendizaje.

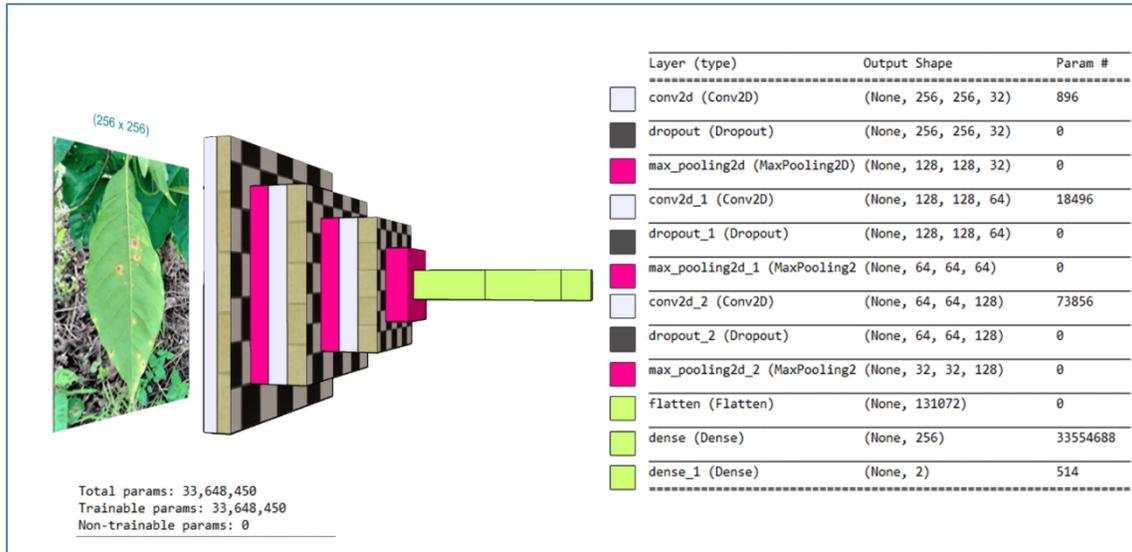
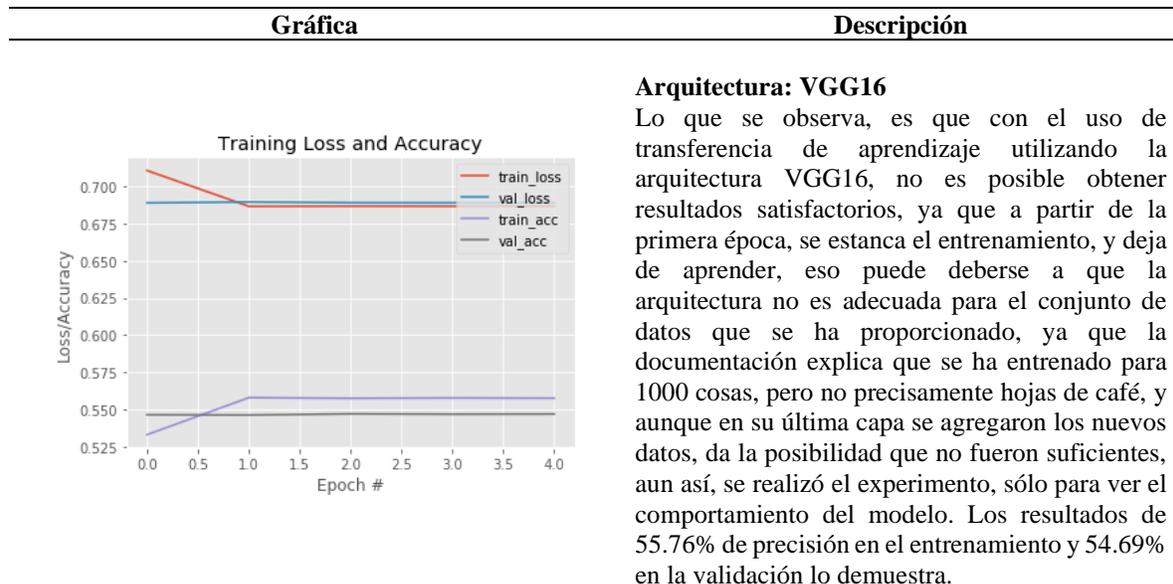
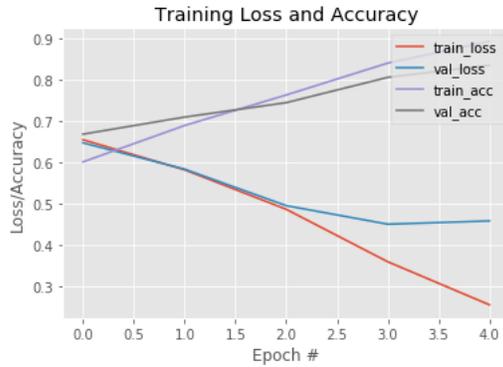


Figura 6: Arquitectura Propuesta Cafezh

3. Resultados

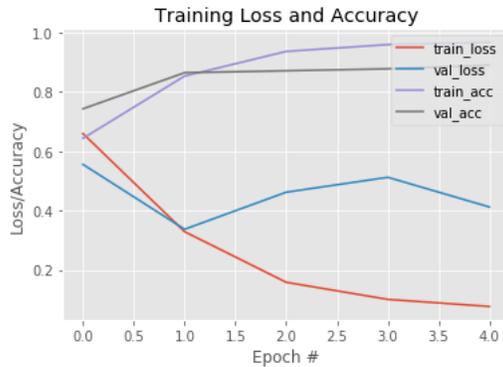
Probamos la efectividad de las arquitecturas utilizando redes neuronales convolucionales y se observó que se obtuvieron mejores resultados con la arquitectura propuesta cafezh, ya que la técnica de transferencia de aprendizaje no dio buenos resultados, esto se pudo deber a que el optimizador y los parámetros de entrada no fueron los adecuados, como se puede observar, en la gráfica correspondiente a la arquitectura VGG16, pronto cae en un mínimo local. Por otro lado, la arquitectura propuesta, utilizando diferentes optimizadores, se logró mejorar la precisión. El detalle se puede observar en la tabla 1.





Arquitectura: cafezh1

En este experimento, los resultados obtenidos fueron de 89.43% en precisión para el entrenamiento y 83.63% de precisión para la evaluación, utilizando el optimizador SGD. Se observa que la precisión sube con las épocas pero en la perdidas de validación se estanca y queda lejos de la de perdida de entrenamiento, esto hace pensar que se puede mejorar el modelo .



Arquitectura: cafezh2

El siguiente experimento, permitió obtener 96.73% en precisión para el entrenamiento y 89.03% de precisión para la validación, utilizando el optimizador Adamax. Se observa que la precisión sube con las épocas dando indicios de que se está mejorando. Aunque las perdidas en la validación tiende a subir pero después de la época 3 empieza su bajada con tendencia a seguir bajando, prueba de que se puede llegar a buenos resultados si prosigue el entrenamiento.



Arquitectura: cafezh3

En este experimento, los resultados obtenidos fueron de 96.80% en precisión para el entrenamiento y 90.65% de precisión para la evaluación, utilizando el optimizador Adadelta. Aunque las perdidas en la validación tiende a subir pero después de la época 3 empieza su bajada con tendencia a seguir bajando, esto da un indicio de que si se continua con el entrenamiento, se puede llegar a resultados satisfactorios.

Tabla 5: Resultados de la arquitectura VGG16 y la propuesta.

4. Conclusiones

Como cualquier enfermedad, la prontitud con que se diagnostique, hará la diferencia en la efectividad del tratamiento, y por ello, se concluye que el uso de Las redes Neuronales Convolucionales, pueden ser de gran ayuda para crear un modelo clasificador de la enfermedad “Mancha de Hierro” ya que los resultados fueron superiores al 90% de precisión. El modelo cafezh puede utilizarse para crear una herramienta que determine si existe presencia de la enfermedad cuando se le suministre una nueva muestra, todo ello sin la rigurosa supervisión de un experto, ayudando así al productor cafetalero a actuar en tiempo y forma ante la presencia de la enfermedad. Además, disminuyendo la subjetividad del diagnóstico.

5. Referencias

Alimentaria, C. d. (Mazo de 2018). *www.cedrssa.gob.mx*. Obtenido de [http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El café en México: diagnóstico y perspectiva.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El%20café%20en%20México:%20diagnóstico%20y%20perspectiva.pdf)

Arnal Barbedo, J. G. (2019). Plant disease identification from individual lesions and spots using deep learning. *Biosystems Engineering*, 180(2016), 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.002>

Ashqar, B. A. M., & Abu-naser, S. S. (2018). *Image-Based Tomato Leaves Diseases Detection Using Deep Learning*. 2(12), 10–16.

Guzmán, Ó. A., Gómez, E. O., Rivillas Osorio, C. A., Carlos, ;, Oliveros Tascón, E., & Electrónico, I. (2003).

- Utilización Del Procesamiento De Imágenes Para Determinar La Severidad De La Mancha De Hierro , En Hojas De Café. *258 Cenicafe*, 54(3), 258–265. Retrieved from <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/244/1/arc054%2803%29258-265.pdf>
- Guzmán Piedrahita, O. A., & Rivillas Osorio, C. A. (2007). Relación de *Glomus manihotis* y *G. fasciculatum* con el crecimiento de plantas de café y la severidad de la mancha de hierro. *Cenicafe*, 58(3), 236–257.
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., ... MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0089>
- Jansen, K., & Zhang, H. (2007). Scheduling malleable tasks. *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*, 45-1-45–16. <https://doi.org/10.1201/9781420010749>
- Khan, S., n, meera, Shaikh, A. A., Ansari, H., & Ansari, N. (2019). Disorder Detection in Tomato Plant Using Deep Learning. *SSRN Electronic Journal*, 2154–2160. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3358226>
- Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. *Frontiers in Plant Science*, 7(September), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01419>
- Sanchez, P. A., & Swaminathan, M. S. (2005). Cutting world hunger in half. *Science*, 307(5708), 357–359. <https://doi.org/10.1126/science.1109057>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). *Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition*. 1–14. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1409.1556>
- Tai, A. P. K., Martin, M. V., & Heald, C. L. (2014). Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. *Nature Climate Change*, 4(9), 817–821. <https://doi.org/10.1038/nclimate2317>
- Zeng, G., He, Y., Yu, Z., Yang, X., Yang, R., & Zhang, L. (2016). Preparation of novel high copper ions removal membranes by embedding organosilane-functionalized multi-walled carbon nanotube. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(8), 2322–2330. <https://doi.org/10.1002/jctb.4820>
- Fernández Borrero, O., Mestre Mestre, A., & López Duque, S. (1966). Efecto de la fertilización en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. *Cenicafé (Colombia)* v. 17 (1) p. 5-16.

6. Notas Biográficas

El Ingeniero en Sistemas Computacionales, **Balzhoyt Roldán Ortega**, es estudiante de maestría en Sistemas Computacionales con línea de investigación en Cómputo Inteligente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La ingeniera en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, **Cecilia Irene Loeza Mejía** es estudiante de maestría en Sistemas Computacionales con línea de investigación en Cómputo Inteligente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Doctor en Ciencias, **Rajesh Roshan Biswal** es profesor investigador y consultor en matemática y ciencia de datos en el ITESM Campus Guadalajara.

Estrategia de implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2G en la planta piloto del ITVER

IBQ. Yerania Salinas Sarabia¹, Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga², Dr. Javier Gómez Rodríguez³.

¹ Yerania Salinas Sarabia, Ingeniero Bioquímico, estudiante de la Maestría en ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: yerania55@gmail.com>

²La Dra., en Ingeniería de Procesos. María Guadalupe Aguilar Uscanga, es Profesor Investigador y jefa del Laboratorio de Bioingeniería en el Instituto tecnológico de Veracruz, Veracruz.

³El Dr. En Ingeniería Electrónica. Javier Gómez Rodríguez, es Profesor Investigador en el Instituto tecnológico de Veracruz, Veracruz.

Resumen— El presente trabajo tiene como propósito mostrar una visión general del desarrollo de la implementación de un sistema de ejecución de la manufactura (MES) en el proceso de producción de bioetanol de 2da Generación en la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz, para este sistema se determinaron 5 etapas principales: Inicio. Planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre. Este sistema se implementa a través de un software denominado Wonderware MES, el cual permite llevar un control de la operación de la planta de una manera ordenada con datos en tiempo real, recabar y distribuir la información de la planta piloto de bioetanol de 2G es de los objetivos más importantes, el cual contara con una metodología de operaciones básicas, dando como resultado la toma de decisiones de la manera correcta en tiempo y forma, Así mismo se mostrara cuáles son los posibles software MES y como se determinó cual es el más adecuado(1). Previamente a la implementación del sistema, se realizan actividades para recopilar la información de la planta, equipos, maquinarias, personal de operación y auxiliares y toda la información que es relevante en el proceso y es transmitida a través de las redes de comunicación hasta llegar al software, una vez capturada se procede a realizar un análisis con la finalidad de detectar posibles fallos y ser corregidos, para cuando se ponga en marcha pueda funcionar de manera adecuada y sin errores(2).

Palabra(s) clave—Automatización, MES (Sistema de Ejecución de la Manufactura), bioetanol, CIM (Manufactura integrada por computadora), Manufactura, ERP (Planificación de recursos empresariales), SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

Abstract

The purpose of this work is to show an overview of the development of the implementation of a manufacturing execution system (MES) in the 2nd Generation bioethanol production process in the pilot plant of the Veracruz Institute of Technology, for this system They determined 5 main stages: Start. Planning, execution, monitoring and control, closing. This system is implemented through a software called Wonderware MES, which allows you to keep track of the operation of the plant in an orderly manner with real-time data, collect and distribute the information of the 2G bioethanol pilot plant. The most important objectives, which will have a methodology of basic operations, resulting in decision-making in the right way in a timely manner, it will also show what are the possible MES software and how it was determined which is the most appropriate. Prior to the implementation of the system, activities are carried out to collect the information of the plant, equipment, machinery, operating personnel and auxiliaries and all the information that is relevant in the process and is transmitted through the communication networks until reaching the Once the software has been captured, an analysis is carried out in order to detect possible failures and be corrected, so that when it is started up it can function properly and without errors.

Key words – Automation, MES (Manufacturing Execution System), Bioethanol, CIM (Computer Integrated Manufacturing), Manufacturing, ERP (Enterprise Resource Planning), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

Introducción

En la industria el progreso tecnológico ha ido en constate evolución dado el creciente interés en el desarrollo de sistemas automatizados, con la finalidad de satisfacer necesidades y solucionar problemas más puntuales que precisan una definición y delimitación más específica de las problemáticas del contexto industrial (1).

Las empresas han optado por implementar tecnologías innovadoras para atender y satisfacer las necesidades de los clientes que requieren un suministro rápido, de bajo costo y de gran calidad. En la búsqueda continua de

mejoras en la eficiencia de los procesos de producción, el sector industrial ha realizado grandes inversiones en la adquisición de nuevas tecnologías tales como hardware y software para soportar e implementar sensores, actuadores, controladores lógicos programables PLC's, actualización de maquinaria y sistemas de supervisión SCADA (del inglés, Supervisory Control And Data Acquisition). Con las nuevas generaciones de tecnologías de la información en las empresas existe la falta de un vínculo crucial entre los procesos automatizados y otras áreas de la empresa, que va desde la gestión de la producción, áreas de logística, recursos humanos y financieros (2). Una solución viable para resolver esta falta de comunicación entre las áreas es la implementación de un sistema de ejecución de la manufactura MES(3).

Los sistemas MES son parte del modelo CIM perteneciendo al nivel 3 de la pirámide CIM (del inglés, Computer Integrated Manufacturing), el cual es una herramienta que integra todos los procesos existentes en la manufactura a través de la implantación de sistemas automatizados permitiendo comunicación entre áreas funcionales y operacionales (7).

El modelo CIM se remonta a principio los años 70s, desarrollado por Joseph Harrington, quien publicó un libro llamado "Computer Integrated Manufacturing" en 1973, que pretendía la idea de crear una industria controlado por los ordenadores, luchando por establecer en el mercado mejores precios, servicios y productos(10).

Un sistema MES se utiliza en la industria de manufactura para seguimiento y control de los procesos de producción, facilita y proporciona información a los ingenieros del proceso sobre las condiciones actuales y mejoras en la productividad.(9)

A través de un sistema MES se obtienen datos en tiempo real del nivel producción y son transmitidos al nivel ERP (del inglés, Enterprise Resource planning), estos datos al llegar al nivel directivo de la empresa pueden ser analizados y facilitar la toma de decisiones operativas (6).

Desarrollo

En el Instituto Tecnológico de Veracruz se encuentra ubicada la primera planta piloto generadora de bioetanol de 1era y 2da Generación en México, el proceso de obtención del bioetanol (11)se genera a través de una serie de etapas donde se involucran una gran cantidad de equipos, maquinarias, componentes, sistemas eléctricos, personal operador, entre otros; se pretende que el proceso sea automatizado totalmente, razón por el cual se implementa un sistema MES, para llevar a cabo la implementación se están desarrollando una serie de actividades en las cuales se recopila toda la información de la planta de manera manual, se tendrá un listado de todos los equipos existentes en la planta que son parte del proceso y las características de cada uno de ellos , un listado de componentes, un listado del personal operador y auxiliares, toda la información que exista en el almacén de materiales, la información de producciones anteriores será capturada en el software para tener datos de referencia, se identificarán tiempos muertos que existan en el proceso de producción y posteriormente se ejecutara una estrategia de rendimiento y eficiencia, se validaran señales y se revisaran las redes de comunicación con apoyo de personal del área de informática, para asegurar que toda la información transmitida hacia el software sea correcta y completa(2).

La planta piloto de bioetanol del ITVER cuenta con un software llamado InduSoft, el cual es una herramienta de automatización para la recopilación de datos SCADA, este software permite integrar dispositivos de control y adquisición de pantallas y computadoras a nivel industrial, este software cuenta con la información que se transmite a través de los sensores de temperatura, Sensores de presión, actuadores, bombas, sistemas, gabinetes de control, controles lógicos programables (PLC's) , en la figura 1 se puede observar la representación de los sistemas SCADA y MES y como se complementan entre ellos, donde toda la información que se transmite a través de los componentes provienen de las etapas que conforman el proceso de obtención de bioetanol de 2G, como lo son: pretratamiento, proceso de hidrólisis enzimática, proceso de hidrólisis ácida, hidrólisis alcalina, fermentación , etc.

El software InduSoft se utiliza como complemento para la implementación del sistema MES, estos softwares de operación y supervisión permiten al operador interactuar con el proceso de obtención de bioetanol 2G, facilitando la toma de decisiones de manera remota desde un cuarto de control.

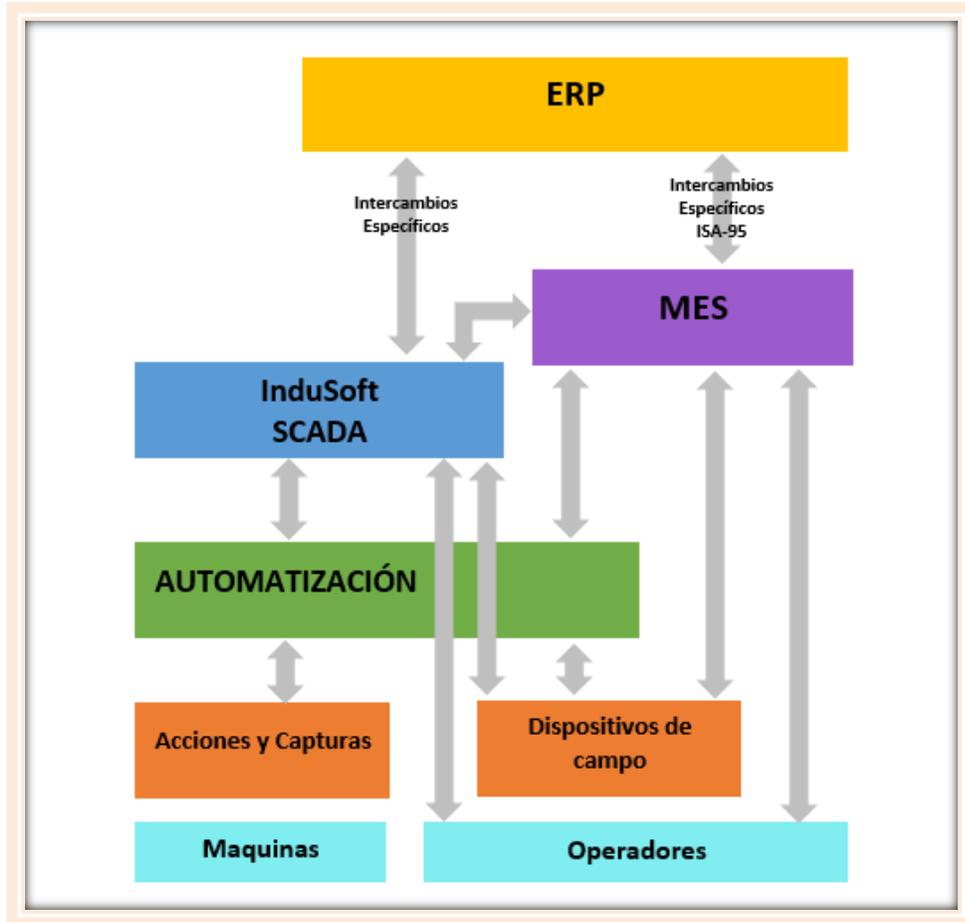


Figura 1. Representación del sistema SCADA y el sistema MES y como se complementan entre ellos (2).

Actualmente existe una asociación mundial sin fines de lucro denominada MESA (del inglés, Manufacturing Enterprise Solutions Association), esta asociación se centra en la mejora de los procesos productivos a través de la optimización de las aplicaciones existentes en la industria implementando tecnologías de la información y buenas prácticas; esta asociación se conforma por empresas de fabricación, proveedores de software y hardware, analistas, proveedores de servicios de consultoría, profesionistas, académicos y estudiantes. MESA es una organización preocupada en estandarizar el concepto y el alcance de las soluciones MES.

MESA Internacional se fundó en 1992 con la finalidad de promover los sistemas MES, el alcance se amplió posteriormente para incluir funciones en toda la cadena de valor empresarial de manufactura e integración de dispositivos de planta y control de sistemas empresariales e inteligencia para niveles más altos de automatización, optimización y organización de procesos de fabricación.

Los miembros de MESA abarcan una gama de diferentes entornos de fabricación, apoyando a sus miembros en la utilización de tecnologías para proporcionar visión en tiempo real de los procesos de producción.

La implementación del MES en el proceso de producción de bioetanol en la planta piloto de bioetanol estará conformada por 11 funcionalidades básicas establecidas por la Asociación MESA, en la figura 3 se representan estas funcionalidades de manera organizada y clasificadas por MESA (8):

1. Programación De Las Operaciones

Cuando se inicia el proceso de producción de Bioetanol en la planta piloto del ITVER, previamente se realiza una programación y planeación de las operaciones, para ello es importante tener un plan de actividades, conocer los tiempos y responsables de cada una de las actividades que se realizan. A través del sistema MES se podrá programar la fecha de inicio y fin de cada una de las etapas del proceso de producción, en la figura 2 se muestran las etapas que se monitorean a través del sistema MES en el cual cada una de estas etapas tiene características y datos que serán transmitidos de manera puntal y se ordenaran en secuencia lógica desde el inicio de la

molienda hasta la obtención del producto terminado, se podrá verificar el tiempo que conlleva cada una de las etapas para la obtención del bioetanol.

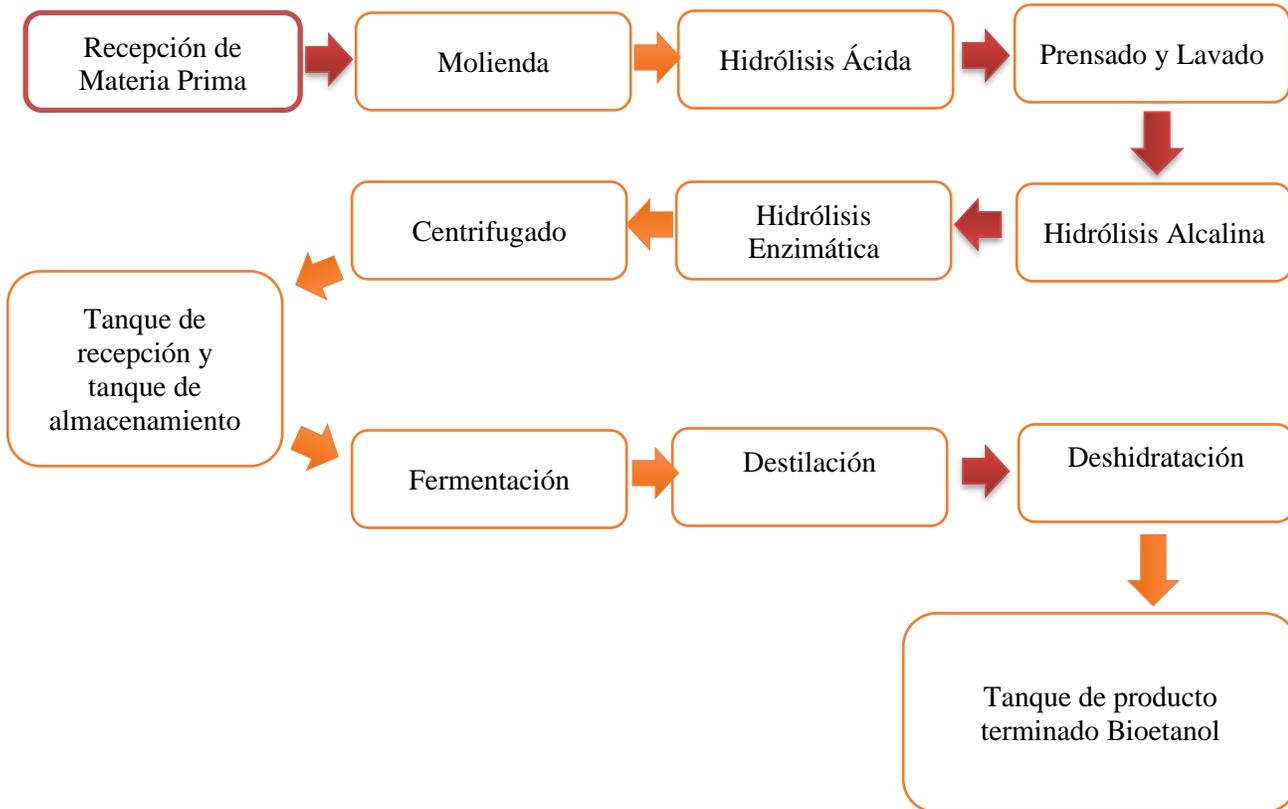


Figura 2. Etapas que se monitorean en el proceso de producción de bioetanol 2G en la planta piloto del ITVER.

Con la programación de las etapas se podrán visualizar los gráficos con información en tiempo real, se ejecutarán y controlarán operaciones y se prevenirán sobrecargas entre los centros de producción y a su vez se cumplirán con plazos de entrega establecidos.

2. Gestión De Recursos y Estados

Cada uno de los equipos, máquinas y sistemas que pertenecen a la planta piloto, se monitorearán por el sistema MES en todo momento, con la finalidad de optimizar y maximizar su eficacia, permitiendo llevar una programación para realizar mantenimiento preventivo y correctivo en caso de ser necesario, con la finalidad de prevenir fallas durante el proceso de la producción. En planta piloto se encuentran todos los equipos que son indispensables para el proceso de producción de bioetanol.

3. Control De Las Unidades De Producción

El sistema MES tendrá un control sobre las unidades de producción de bioetanol a través de la generación de ordenes de producción que permitirá llevar un control individual por cada lote o pedido que se produzca.

4. Control De La Documentación

Toda la información interna y continua del proceso para la obtención de bioetanol de 2G estará disponible en todo momento a través del sistema MES, al tener controlada toda la información se podrá identificar el estado actual de la planta con la finalidad de saber cómo mejorarlo. Todas las tareas que se lleven a cabo más de una

vez o que la realicen numerosas personas, se capturaran en la base de datos del MES, este control permitirá eliminar errores, reducir el tiempo empleado en las tareas, mejorara la eficiencia y permitirá producir los resultados deseados.

5. Seguimiento Y Genealogía Del Producto

Para la producción de bioetanol habrá un registro de todos los datos proporcionados a lo largo de la cadena de producción. Se conocerá en todo momento la ruta del producto desde que se toma la materia prima hasta la obtención del producto final.

6. Análisis De Indicadores De Rendimiento

Durante el proceso de producción de bioetanol en la planta piloto se tendrá la capacidad de analizar en tiempo real el funcionamiento general del proceso, detectando retrasos, cantidad de producción y parámetros de utilidad para analizar la eficiencia.

7. Gestión Laboral

A través del MES se podrá dar seguimiento a los operadores registrados en los trabajos y se podrá consultar el tiempo de permanencia en los equipos y/o máquinas, el MES almacenará datos del personal como horarios, horas laborales, calendarios y sus programaciones.

8. Gestión De Mantenimiento

El sistema MES permitirá garantizar la continuidad de la actividad operativa, al llevar un registro del uso de los recursos se podrá planificar mantenimientos preventivos evitando retrasos por fallas causadas en los equipos.

9. Gestión De Proceso

La información que se transmita a través de las redes de comunicación tanto de operaciones, equipos de planta, especificaciones, listas de materiales, rutas, y configuraciones, estarán vinculadas y monitorizadas permitiendo que el operario pueda intervenir sobre el proceso en cualquier momento.

10. Gestión De Calidad

El software MES permitirá realizar análisis de los datos relacionados con el proceso de obtención del bioetanol en tiempo real para mantener la calidad hasta su etapa final del proceso y tener la capacidad de identificar los problemas y puntos débiles a tiempo.

11. Captura De Datos

Toda la información que interviene en el proceso de producción de bioetanol 2G en la planta piloto, ha sido recolectada automática y manualmente, ha sido cargada en el software InduSoft y se capturara en el software Wonderware MES una vez que este sea instalado.

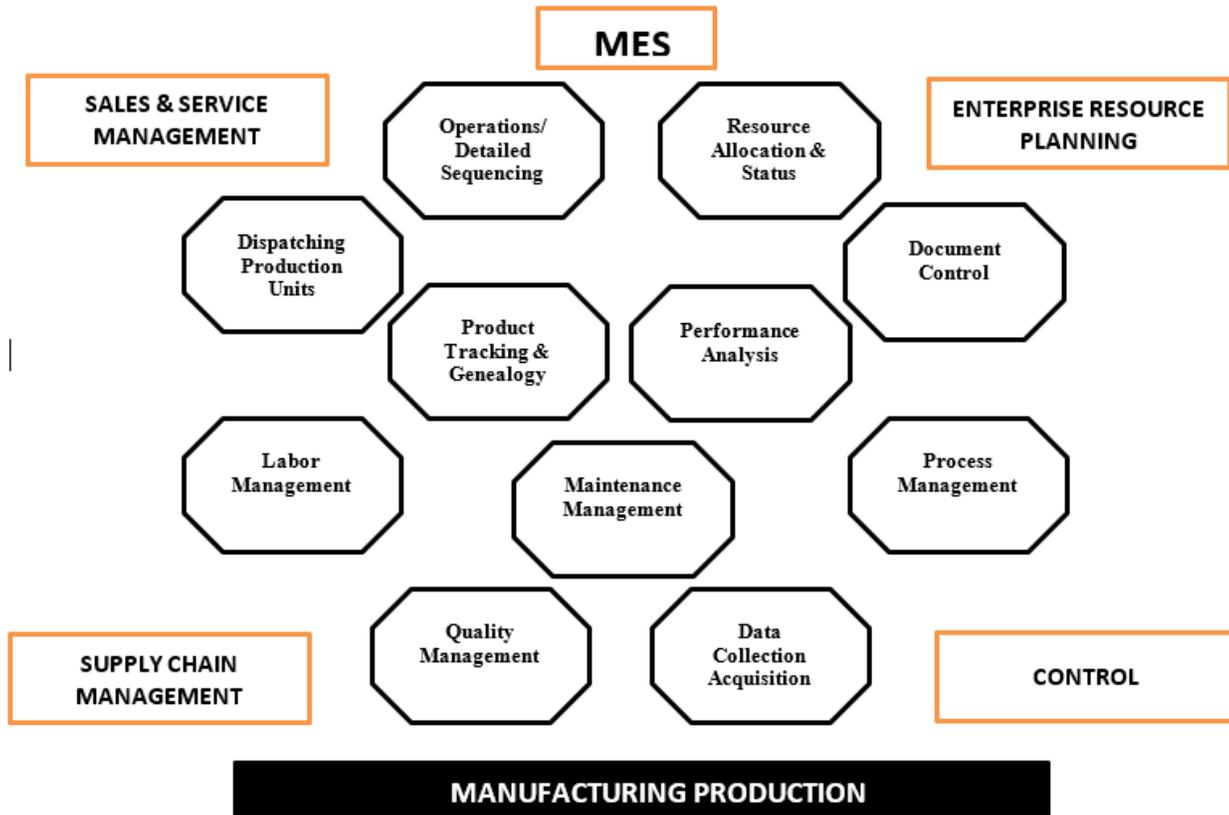


Figura 3. Representación de las funcionalidades de un MES, establecidas por la Asociación MESA (8).

Selección del Software MES

Para la implementación del sistema MES, se analizaron diferentes softwares que cumplan con las funcionalidades y que estas puedan ser adaptables a los requerimientos de la planta piloto.

En el mercado existe una gran variedad de software MES que son implementados en la industria manufacturera, entre las alternativas que se analizaron se encontraron las siguientes (3):

EdInn

Edinn se integra directamente en la estructura de la empresa, trabajando on-line con cualquier ERP, dispone de una visión multiplanta desde la que se podrá acceder en tiempo real a múltiples centros de trabajo y ubicaciones.

Wonderware MES

Este software es uno de los más completos en el ámbito industrial, incluye la gestión de todas las funcionalidades con las que debe cumplir un MES, su modelo de proceso proporciona información fiable en tiempo real, donde los directivos y operarios están mejor ocupados para agilizar el flujo de pedidos y ejecución de la producción. Permite llevar a cabo un seguimiento de la transformación de materias primas a productos acabados, permitiendo evaluar rentabilidad y calidad.

Opera

Este software es un sistema MES completo, moderno, configurable y modular que cubre de manera perfecta la gestión y el control de actividades de Producción, Calidad, Materiales y Mantenimiento. El objetivo principal es facilitar información en tiempo real sobre el avance del plan de producción: actividades directas e indirectas, rendimiento, eficiencia por operador, máquina, línea, centro de coste, centro de trabajo, departamento, etc., la relación entre el tiempo programado y el tiempo utilizado.

Una vez que se analizaron los posibles software a implementar en la planta piloto de bioetanol 2G, se concluyó que los 3 softwares cumplen con los requerimientos de planta y se determinó que el software más

viable para adquirir es el Wonderware MES de acuerdo a las siguientes razones: Maneja una versión académica con 20 licencias, que pueden ser utilizadas por los estudiantes de posgrado del ITVER, el software pertenece al mismo distribuidor del programa InduSoft, lo que facilita la complementación de ambos y finalmente por el costo, ya que al ser una versión académica el precio es más accesible.

Simulación del sistema MES

Una vez recopilada y capturada manualmente la información de planta e instalado el Wonderware MES, partiremos hacia la simulación del sistema, transmitiendo la información de cada uno de los equipos que cuenta con pulsadores que indican si se encuentra en parada o funcionamiento. Cada elemento básico de las etapas del proceso contiene las variables que permiten al software mostrar análisis y reportes. Pero para que estos puedan ser visualizados en el software, se utilizarán plantillas, se crearán objetos con un conjunto de características, atributos, extensiones, gráficos e información. Para la simulación se tendrá en cuenta la futura interacción con elementos de campo como sensores y actuadores. El software provee las herramientas y el manual para caracterizarlo según las condiciones de la planta piloto de bioetanol 2G. se diseñará una interfaz y arquitectura para el control de la planta(10).

Para la implementación del MES es necesario tener acceso a las variables que permitan ejecutar ordenes de trabajo, informes y todas las señales imprescindibles, estas señales se recogen a través de un bus de ethernet industrial de la planta piloto.

Impacto de la implantación de un MES

La implementación de su sistema MES en la planta piloto contribuirá al uso eficiente de los recursos, mejorando la productividad, Cabe destacar que el trabajo en equipo de todos los colaboradores en la planta piloto de bioetanol de 2G es primordial, siendo este uno de los pilares más importante para que el proyecto pueda salir adelante. Es importante señalar que gracias a los informes en tiempo real que nos proporcionara el sistema MES, será posible que se puedan detectar patrones de comportamiento y anomalías en el sistema y proceso de producción.

Al implementar este sistema e integrarlo con software existentes de información, podremos dar seguimiento a indicadores en planta permitiendo mejorar tanto las variables económicas-financieras como las operativas.

Las empresas que utilizan MES son mucho más propensas a mejorar en los indicadores operativos utilizados para la confiabilidad el costo y la capacidad de responder rápidamente a las nuevas demandas.

Haciendo una reflexión sobre los procesos industriales nos lleva a pensar como la automatización y el control industrial forma parte fundamental en la implementación y el mantenimiento de la sostenibilidad.

Al implementar sistemas de automatización en la industria, estos llevan consigo una mayor eficacia en el producto final lo que impactara en una disminución significativa de consumo energético, menor número de residuos a reciclar, ahorro de consumo de papel dado que todos los datos serán tratados de manera telemática (5).

El desarrollo integral de software, hardware, mecánica industrial, automatización y telecomunicaciones, a través de una correcta red de comunicación en conjunto con el trabajo en equipo se logrará en la producción una mayor competitividad, eficiencia y confiabilidad (4).

Conclusiones

Con el sistema MES implementado, podremos identificar problemas y oportunidades de mejora que existan en el proceso de la obtención del bioetanol de 2G, al tener la información y/o captura de datos del proceso de una manera ordenada se puede convertir en información apta para contribuir en la toma de decisiones en la mejora del proceso, productividad y la calidad de los productos, así como mejoras en el manejo de buenas prácticas en la manufactura ,al tener acceso a la información del proceso, esta podrá ser manejable, se podrá monitorizar y evaluar continuamente resultados obtenidos del producto final.

Los informes obtenidos por el MES no solo permitirán obtener una lectura de lo que esta sucediendo en planta, sino que gracias a la adición de visualizaciones graficas con las que cuenta el software será posible detectar patrones de comportamiento y anomalías del proceso.

Referencias

(1)Patiño Nieto, Luz Marina, Ballesteros Grisales, Jairo, (2016). Requerimientos del mercado y razones para la utilización de sistemas de ejecución de manufactura MES. Bogotá Colombia, Facultad de matemáticas e ingeniería.

- (2)García Moreno E., (1999). Automatización de procesos industriales. España, Universidad Politécnica de Valencia.
- Mandado Pérez E., Marcos Acevedo J., Fernández Silva C., Armesto Quiroga J., (2009). Autómatas programables y sistemas de automatización. España, Marcombo S.A.
- (3)Gianluca D'Antonio, Sauza Bedolla J., Chiabert A., (2017), A novel methodology to integrate Manufacturing Execution Systems with the lean manufacturing approach, Italia, Procedia.
- (4)Ortiz Gallardo G., Moreno Vásquez G., (2016), bioetanol- Cartera de Necesidades de Innovación y desarrollo tecnológico, México, Instituto Mexicano del Petróleo.
- (5)Adedotun Adetunla, (2018), Developing Manufacturing Execution Software as a service for Small and Medium Enterprise, Sudáfrica, Universidad de Johannesburgo.
- (6)Souza das Neves J, Silva Marins F., Kazue Akabane G., (2015), Deployment the MES (Manufacturing Execution System) aiming to improve competitive priorities of Manufacturing, Brasil, Independent Journal of Management & Production (IJM&P)
- (7)Velásquez Costa J.,(2017) Computer Integrated Manufacturing CIM, Lima, Perú, Universidad Ricardo Palma.
- (8)MESA International Home, Asociación mundial , recuperado de : <http://www.mesa.org/en/index.asp>
- (9)Colin Egan and Michael J. Thomas, (2010)CIM Handbook of Strategic Marketing, Editorial Routledge,
- (10)Cheng Wu, Yushun Fan, Deyun Xiao, John Wiley, (2007), Computer Integrated Manufacturing, Beijing China,
- (11) Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga, Dr. Noé Montes García, (2016) “Planta piloto para la producción de etanol a partir de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)” Boletín de la Sociedad Química de México,

Notas Biográficas

IBQ. Yerania Salinas Sarabia, es Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Veracruz, actualmente es estudiante de posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial impartido por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga, actualmente es profesor Investigador del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa de producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería, Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

Dr. Javier Gómez Rodríguez, Actualmente es profesor investigador del departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer). Tiene un doctorado en Ingeniería Electrónica por la Universidad Paul Sabatier Toulouse, Francia, pertenece al sistema Nacional de Investigadores.

Aplicación de SLP como diagnóstico de una planta piloto productora de Bioetanol de 1ra generación acoplada a una de 2da generación.

Paulina Hoz Jáuregui, II¹, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga³

¹ Paulina Hoz jáuregui Ing. es Estudiante de posgrado en la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. pauhozz@gmail.com

²El MII. Gabriel Grosskelwing Núñez es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

³La Doctora María Guadalupe Aguilar Uscanga, es investigadora del Instituto Tecnológico de Veracruz – UNIDA, Veracruz. gaguilar@itver.edu.mx

Resumen—En el presente estudio se realiza un diagnóstico, de las condiciones actuales de la planta piloto productora de Bioetanol de primera generación (1G) acoplada a una de segunda generación (2G) relacionadas con la distribución de planta y el flujo de materiales, utilizando la metodología Systematic Layout Planning (SLP), para ofrecer una alternativa organizada que brinde resultados favorables para identificar, evaluar y visualizar los elementos cuantitativos y cualitativos de la distribución de planta actual. Los resultados obtenidos dan evidencia de los requerimientos de espacio y de los acoplamientos necesarios para realizar el ensamble adecuado de las plantas de ambas generaciones.

Palabra(s) clave— Bioetanol primera generación, Bioetanol segunda generación, Systematic Layout Planning (SLP), Distribución de planta, flujo de materiales.

Abstract – In this study it has been done a diagnosis, non-existent at the moment, about the current conditions of the pilot plant which produces first generation Bioethanol linked to a second generation one related with the plant distribution and the materials flow, showing the utility of the Systematic Layout Planning methodology, in order to offer an organized alternative which provides favorable outcomes to identify, evaluate and visualize the quantitative and qualitative elements of the current plant's distribution.

Key words – Bioethanol 1G process, Bioethanol 2G process, Systematic Layout Planning (SLP), Plant layout, flow of materials.

1. Introducción

El Bioetanol es un alcohol y su mayor parte se fabrica convirtiendo azúcares por fermentación, el que luego es destilado en su forma final, para producirlo se puede hablar de tres tipos de materias primas: azúcares, almidones provenientes de a yuca y el maíz (lo que se denomina etanol de primera generación) y los residuos lignocelulósicos (lo que se denomina etanol de segunda generación) como bagazo de caña y rastrojo de maíz entre otros. Desde el punto de vista industrial, trabajar en la producción de Bioetanol es fundamental, pues no solo es una fuente de energía sino una materia prima importante en la industria química, farmacéutica y agroalimentaria, algunos de sus principales usos es la preparación de carburantes para vehículos automotores lo cual ha demostrado ser una alternativa como combustible frente a fuentes fósiles. Sin embargo, en la medida en que el bioetanol provenga de materias primas que no sean cultivos básicos para la alimentación, o de monocultivos, y particularmente que su origen se encuentre en fuentes de residuos agrícolas lignocelulósicos, se estará en sintonía con compromisos de menor impacto ambiental.

El agotamiento de los combustibles fósiles y la creciente demanda energética ha provocado el interés en biocombustibles renovables, lo que implica entre otras acciones la búsqueda de nuevas fuentes alternativas. El bioetanol es uno de los biocombustibles más estudiados y sugeridos para solucionar esta problemática, debido a: 1) la posibilidad de producirlo a partir de recursos renovables y 2) a su potencial de sostenibilidad. Entre las materias primas utilizadas para la producción de bioetanol destaca el sorgo dulce: a) porque puede cultivarse en suelos áridos y salinos, y b) no es utilizado para consumo humano.

En este contexto la planta piloto productora de Bioetanol fue construida con tecnología 100% mexicana gracias al esfuerzo coordinado de ingenieros y científicos mexicanos en el Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVER) a través de un apoyo obtenido del fondo sectorial SAGARPA – CONACYT proyecto no. 171143, con lo cual fue posible inaugurar el 07 de septiembre de 2015 en su primera etapa, los equipos de producción de Bioetanol

de primera generación (1G), posteriormente a través del fondo sectorial SAGARPA – CONACYT proyecto No. 291143 se inaugura el 21 de noviembre de 2018 la siguiente etapa con los equipos que permiten la producción de Bioetanol de segunda generación, algo importante a resaltar es que esta planta piloto cuenta con una producción flexible ya que puede producir etanol de 1G y 2G conjuntamente, así también de forma separada e independiente, esto conlleva una necesidad de identificar las áreas de oportunidad en el encuentro de estas dos tecnologías.

Actualmente la planta piloto no cuenta con un análisis estructurado de sus condiciones actuales referentes a la distribución de los equipos y estaciones de trabajo, por lo que se vuelve necesario aplicar una metodología que ofrezca una alternativa organizada y sistemática que brinde resultados favorables para identificar, visualizar y evaluar los elementos de la distribución de planta actual, para ello se utilizó la metodología Systematic Layout Planning (SLP) que ha sido una de las mas aceptadas ya que recoge las aproximaciones precedentes y las integra tomando factores cuantitativos como son el flujo de materiales, así como también factores cualitativos como son la relación entre actividades. El esquema completo de trabajo de la metodología SLP se muestra en la Figura 1, en este trabajo para efecto del diagnóstico de las condiciones actuales, se elaborará hasta el diagrama relacional de espacios.

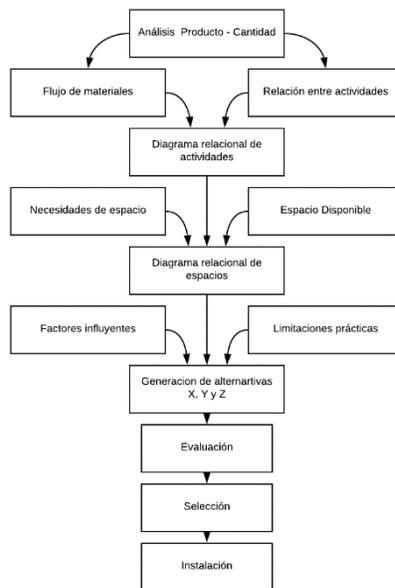


Figura 1. Diagrama del proceso de la metodología SLP.

2. Desarrollo

Análisis del producto y la cantidad a producir.

Se llevó a cabo un análisis de los equipos disponibles, su capacidad y los tiempos de proceso, con esto se pudo estimar la cantidad de etanol que la planta piloto 1G y 2G puede producir. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 1, donde se observa que la planta 1G + 2G tiene la capacidad de producir 500 L de Bioetanol 96.5° por día.

Tabla 1. Litros de bioetanol que se pueden producir por día.

Proceso	Kg.	Materia prima	Producto	Litros por Día
1ra Generación	4,000	Caña de azúcar / Sorgo Dulce	Etanol 96.5°	200
2da Generación	500	Bagazo de caña o Bagazo Sorgo	Etanol 96.5°	300
Total				500

Flujo de materiales.

El siguiente paso en el SLP es el análisis del flujo de materiales, por ello para conocer el proceso de producción del Bioetanol 1G y 2G en la planta piloto se realizó un diagrama de flujo del proceso mostrado en la figura 2, siendo este una de las herramientas mas usadas y útiles para dicho análisis. La Figuras 3 y la Figura 4 muestran, correspondientemente, un flujograma analítico de los procesos de 1G y 2G, en este, las operaciones se indican mediante una línea inclinada que las une con la operación anterior.

Gracias al flujograma analítico fue posible identificar los pasos durante el proceso, los materiales que son utilizados, los transportes recorridos y los tiempos de cada operación, lo que permitió conocer el tiempo total del ciclo de producción de Bioetanol 1G. En estos diagramas se observa que se recorren 31.7 metros durante el proceso 1G y el tiempo total del mismo es de 2027.53 minutos, equivalentes a 33:79:00 horas, esta información es válida para una mollienda, las actividades se llevan a cabo en cadena y se observa que se recorren 39.72 metros en el proceso 2G.

Relación de actividades

En el análisis de flujo de materiales del punto anterior se toman en cuenta los factores cuantitativos del proceso, sin embargo, hay factores cualitativos que cobran importancia en el diagnostico de las condiciones actuales de la planta, como son el flujo de personas, la seguridad, etc. Para ello en la tabla de la relación de actividades (tabla 2) se plasma una primera evidencia de la distribución de los 38 equipos utilizados para la producción de Bioetanol de 1G y 2G de la planta con códigos indicados en la tabla 3, esto sin dejar de lado que en este no se consideran los requerimientos de espacio por equipo y estación de trabajo. Esta tabla de relaciones implica desarrollar un cuadro de relaciones que muestre el grado de importancia de tener cada departamento ubicado adyacente a todos los demás departamentos

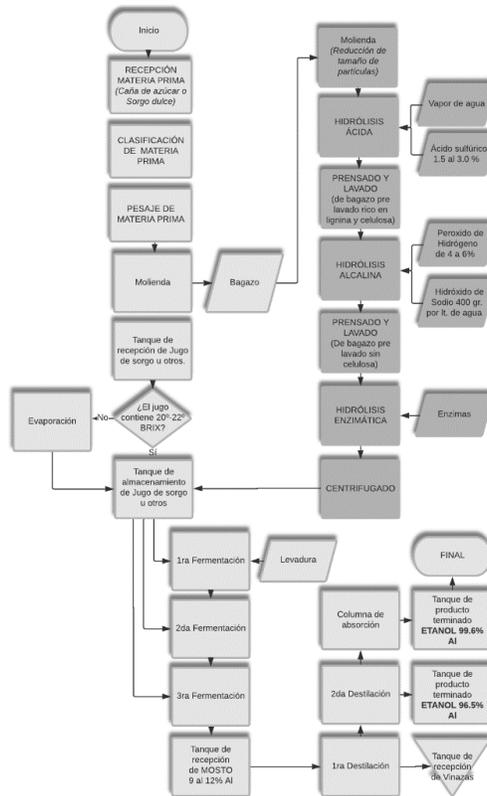


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de producción de Bioetanol de primera y segunda generación.

Proceso: PRODUCCIÓN BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN					Actual		Propuesta		Mejora		
					Operación	Transporte	Demora	Inspección	Almacenaj		
	#	Descripción de Actividad	CANT. {kg y L}	DIST. {m}	TIEMPO {min}	Símbolo				Observaciones	
	1	Se transporta varas de caña del area de descarga a molino.		4.37		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Manualmente
	2	Se muele las varas de caña en el molino (en lotes de 8 varas aprox.)			1.06	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 operarios
	3	Se libera el canal de desecho del molino apartando el bagazo de caña.			35	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2 operarios
	4	Se almacena el jugo en el sedimentador			23.45	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Se separan los lodos.
	5	Se toma una muestra y se analiza si contiene 20 a 22° Bx.			15	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1 operario
	6	Se transporta el jugo hacia el evaporador			3.42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	7	Se lleva a cabo la evaporación			129	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	La finalidad es quitar el agua del jugo para concentra ren 200 g. por litro.
	8	Se transporta hacia el tanque de almacenamiento			2.01	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	9	Se almacena temporalmente.			65	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	10	Se transporta (80 L) hacia fermentador de inóculo.			3.74	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un operario.
	11	Se monitorea la temperatura.			25	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un operario.
	12	Se lleva a cabo la inoculación.			33	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En el tanque de fermentación añadido previamente la levadura al inocular.
	13	Se transporta el otra parte hacia los fermentadores de semilla			5.11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	14	Se lleva a cabo la fermentacion (para crecimiento)			960	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30 a 37° c
	15	Se transporta el resto hacia los fermentadores de producción.			6.22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	16	Se lleva a cabo la fermentacion (producción de alcohol)			960	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	17	Se transporta hacia el tanque de almacenamiento de mosto			1.74	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Manualmente
	18	Permanece en el tanque				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	19	Se transporta hacia el destilador #1			1.8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	20	Se lleva a cabo la primera destilación.			120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Para 60° Alcohol
	21	Se transporta hacia el destilador #2			0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	22	Se lleva a cabo la segunda destilación.			120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Para 96.5° alcohol
	23	Se mide el % de alcohol			0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un operario
	24	Se transporta al tanque de almacenamiento de producto terminado.			2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por medio de un tubo.
	25	Se almacena producto terminado				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Total		0	31.71	2486.51						

Figura 3. Flujoograma Analítico del proceso de producción de Bioetanol Primera Generación.

Proceso: PRODUCCIÓN BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN					Actual	Propuesta	Mejora		
					Operación	Transporte	Demora	Inspección	Almacenamiento
					13	X	X		
					12	X	X		
					0	X	X		
					2	X	X		
					3	X	X		
#	Descripción de Actividad	CANT. (kg y L)	DIST. (m)	TIEMPO (min)	Símbolo			Observaciones	
1	Se recibe el bagazo de caña del area de molino.	500			○	⇨	□	▽	
2	Se tritura para disminuir el tamaño de partícula.			126	○	⇨	□	▽	
3	Por medio de la Banda transportadora se transporta el material al tanque de Hidrólisis Ácida.		2.06		○	⇨	□	▽	
4	Se lleva a cabo la Hidrólisis ácida			240	○	⇨	□	▽	
5	Se transporta hacia la prensa hidráulica		2.24		○	⇨	□	▽	Manualmente
6	Se prensa el bagazo pre lavado rico en lignina y celulosa.			2640	○	⇨	□	▽	en Prensa hidráulica.
7	Se lleva a cabo la Hidrólisis alcalina			2640	○	⇨	□	▽	
8	Se transporta hacia la prensa hidráulica		3.92		○	⇨	□	▽	Manualmente
9	Se prensa el bagazo pre lavado sin celulosa.			93	○	⇨	□	▽	Manualmente
10	Se lleva a cabo la Hidrólisis enzimática			2520	○	⇨	□	▽	
11	Se transporta hacia la centrifuga		5.58		○	⇨	□	▽	Manualmente
12	Se centrifuga el material				○	⇨	□	▽	
13	Se transporta hacia el tanque de almacenamiento		2.01		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
14	Se almacena temporalmente.			120	○	⇨	□	▽	
15	Se transporta (80 L) hacia fermentador de inóculo.		3.74		○	⇨	□	▽	Un operario.
16	Se monitorea la temperatura.			5	○	⇨	□	▽	Un operario.
17	Se lleva a cabo la inoculación.			33	○	⇨	□	▽	En el tanque de fermentación añadido previamente la levadura a inocular.
18	Se transporta el otra parte hacia los fermentadores de semilla		5.11		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
19	Se lleva a cabo la fermentacion (para crecimiento)			960	○	⇨	□	▽	30 a 37° c
20	Se transporta el resto hacia los fermentadores de producción.		6.22		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
21	Se lleva a cabo la fermentacion (producción de alcohol)			960	○	⇨	□	▽	
22	Se transporta hacia el tanque de almacenamiento de mosto		1.74		○	⇨	□	▽	Manualmente
23	Permanece en el tanque			150	○	⇨	□	▽	
24	Se transporta hacia el destilador #1		1.8		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
25	Se lleva a cabo la primera destilación.			120	○	⇨	□	▽	Para 60° Alcohol
26	Se transporta hacia el destilador #2		0.5		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
27	Se lleva a cabo la segunda destilación.			120	○	⇨	□	▽	Para 96.5° alcohol
28	Se mide el % de alcohol			0.5	○	⇨	□	▽	Un operario
29	Se transporta al tanque de almacenamiento de producto terminado.		2.3		○	⇨	□	▽	Por medio de un tubo.
30	Se almacena producto terminado				○	⇨	□	▽	
Total		0	33.42	7721					

Figura 4. Flujoograma Analítico del proceso de producción de Bioetanol Segunda Generación.

Tabla 2. Tabla relacional de actividades

EQUIPO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38			
1 FERMENTADOR #1 (1500 L)	0																																								
2 FERMENTADOR #2 (1500 L)	A/1	0																																							
3 TORRE DE ENFRIAMIENTO	A/1	A/1	0																																						
4 DESTILADOR DE COLUMNAS	E/1	E/1	A/1	0																																					
5 ALAMBIQUE	E/1	E/1	A/1	A/1	0																																				
6 DESTILADOR	E/1	E/1	A/1	E/1	A/1	0																																			
7 COLUMNAS DE ABSORCIÓN	E/1	E/1	A/1	A/1	E/1	A/1	0																																		
8 TANQUE ALMACENAMIENTO ETANOL	E/1	E/1	E/1	A/1	A/1	A/1	0																																		
9 FERMENTADOR DE SEMILLA #1	A/1	A/1	E/1	E/1	E/1	E/1	O/1	0																																	
10 FERMENTADOR DE SEMILLA #2	A/1	A/1	E/1	E/1	E/1	E/1	O/1	A/1	0																																
11 FERMENTADOR DE INÓCULO (80 L)	E/1	E/1	O/1	O/1	O/1	O/1	O/1	A/1	A/1	0																															
12 EVAPORADOR DOBLE EFECTO (300 L)	V/1	V/1	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	O/1	0																													
13 TANQUE DE ALMACENAMIENTO #1	V/1	V/1	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	A/1	A/1	0																												
14 MOLINO (CAP. 5 TON.)	V/1	V/1	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	E/1	0																												
15 TANQUE SEDIMENTADOR (1500 L)	V/1	V/1	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	E/1	A/1	0																												
16 TRITURADOR	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1	E/1	0																										
17 CALDERA	U	U	U	U	U	E/1	E/1	U	U	U	U	E/1	U	U	U	0																									
18 CENTRIFUGA	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	0																									
19 FERMENTADOR (2G)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1	0																								
20 TANQUE DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA #1 (3000L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/2	A/1	0																							
21 TANQUE DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA #2 (3000L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/2	A/1	A/1	0																						
22 TANQUE DE ENFRIAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	A/1	0																						
23 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1	A/1	E/1	0																						
24 AUTOCLAVE #1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	O/10/1	0																						
25 AUTOCLAVE #2	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	O/10/1E/1	0																						
26 PRESA HIDRÁULICA	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1	A/1	O/1	U	O/1E/1	0																				
27 TANQUE DE HIDRÓLISIS ÁCIDA #2 (1000 L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	U	O/10/1A/1	0																					
28 TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #1 (3000L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	U	O/10/1A/1A/1	0																					
29 TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #2 (3000L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	U	E/10/1A/1E/1E/1	0																					
30 TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #3 (3000L)	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	E/1	U	E/1E/1A/1E/1E/1A/1	0																					
31 TANQUE DE ALMACENAMIENTO 250 L	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1E/1	U	U	O/1	U	U	0																		
32 TANQUE DE ALMACENAMIENTO 250 L	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1E/1	U	U	E/1	U	U	O/1	0																	
33 TANQUE DE ALMACENAMIENTO 250 L	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E/1	U	U	U	U	U	O/10/1	0																
34 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O/10/10/1	0															
35 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O/10/10/10/1	0														
36 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O/10/10/10/10/1	0													
37 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	O/10/10/10/10/10/1	0												
38 BANDA TRANSPORTADORA	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A/1E/1E/1E/1	U	U	U	U	U	U	U	U	U				

Tabla 3. Tabla de códigos de cercanía.

Código	Definición
A	ABSOLUTAMENTE NECESARIO
E	ESPECIALMENTE IMPORTANTE
I	IMPORTANTE
O	ORDINARIAMENTE IMPORTANTE
U	SIN IMPORTANCIA
X	NO DESEABLE

Tabla 4. Tabla de razón de cercanía.

No.	Definición
1	FLUJO DE MATERIALES
2	FLUJO DE PERSONAL
3	MISMO PERSONAL
4	POR SEGURIDAD

Requerimientos de espacio

Con el fin de hacer el diagnóstico de las condiciones actuales de la planta piloto, propósito de este estudio se recopiló la información de las áreas ocupadas por los equipos de producción y transporte, lo cual fue de utilidad para visualizar y servir para un posible posterior estudio de las alternativas de una nueva distribución de planta. Los cálculos se realizaron en base a un layout actual especialmente hecho para este estudio.

Tabla 9. Areas actuales ocupadas por equipos instalados.

No. De equipo	Equipo	Área requerida (m ²)
1	FERMENTADOR #1 (1500 L)	0.90
2	FERMENTADOR #2 (1500 L)	0.90
3	TORRE DE ENFRIAMIENTO	0.50
4	DESTILADOR DE COLUMNAS	1.00
5	ALAMBIQUE	1.61
6	DESTILADOR	0.50
7	COLUMNAS DE ABSORCIÓN	0.40
8	TANQUE ALMACENAMIENTO ETANOL	0.36
9	FERMENTADOR DE SEMILLA #1	0.90
10	FERMENTADOR DE SEMILLA #2	0.90
11	FERMENTADOR DE INÓCULO (80 L)	0.49
12	EVAPORADOR DOBLE EFECTO (300 L)	0.88
13	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.21
14	MOLINO (CAP. 5 TON.)	7.80
15	TANQUE SEDIMENTADOR (1500 L)	2.62
16	TRITURADOR	1.35
17	CALDERA	7.76
18	CENTRIFUGA	0.84
19	FERMENTADOR	1.36
20	TANQUE DE HIDRÓLISIS ENZIMATICA #1 (3000L)	1.36
21	TANQUE DE HIDRÓLISIS ENZIMATICA #2 (3000L)	1.36
22	TANQUE DE ENFRIAMIENTO	0.34
23	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.36
24	AUTOCLAVE #1	0.49
25	AUTOCLAVE #2	0.49
26	PRENSA HIDRÁULICA	4.48
27	TANQUE DE HIDRÓLISIS ÁCIDA #2 (1000 L)	0.87
28	TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #1 (3000L)	1.36
29	TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #2 (3000L)	1.36
30	TANQUE DE HIDRÓLISIS ALCALINA #3 (3000L)	1.36
31	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.20
32	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.20
33	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.20
34	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.20
35	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.20
36	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.36
37	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.36
38	BANDA TRANSPORTADORA	5.00
Total equipos		60.83
PASILLOS		352.5
TOTAL		413.33

3. Resultados

Este estudio se realizó conforme a una investigación de campo dentro de la planta piloto, donde se llevó a cabo la observación del proceso y equipos, toma de tiempos de las actividades y procesos de producción, medición de espacios, la relación entre las áreas y equipos, conocimiento detallado de los equipos y manejo de los materiales hasta el producto final y se obtuvo un diagnóstico integral de las condiciones actuales de la planta piloto aplicando el SLP, en el cual se abarcaron los factores cualitativos y cuantitativos con los que cuenta el proceso productivo.

En el flujo de materiales se pudo observar claramente el recorrido del jugo de caña o sorgo dulce por cada equipo de producción hasta convertirse en Bioetanol, en el flujograma de proceso de 1G arroja un tiempo aproximado de 2,486.51 minutos, así mismo el proceso de 2G arrojó un tiempo de 7,721 minutos, en la siguiente etapa del estudio se muestra en la tabla de relaciones se observó las relaciones más significativas e importantes entre equipos de la 1G y 2G como son entre el Fermentador de producción y el Tanque de Mosto, el Destilador y la Torre de enfriamiento, el Molino y el Evaporador, posteriormente en la tabla de espacios requeridos por los equipos se observó que el molino y la caldera son los que se invierte espacio, teniendo un total de 60.8m² de equipos y 352.5 m² de pasillos para desplazamiento de personal y material.

4. Conclusiones

Con la técnica SLP desarrollada por Richard Muther se facilita la sistematización de la información requerida para una distribución de planta óptimo ya que utilizando para ello el análisis del flujo de materiales (factores cuantitativos) como el análisis de las relaciones entre actividades (factores cualitativos) se obtiene información muy valiosa y útil para un posterior trabajo de diseño de un layout deseado, funcional y eficiente. El conjunto de información obtenida en este estudio refleja que el proceso de 2G requiere aproximadamente tres veces el tiempo que el proceso de producción de 1G. En el análisis de relación de actividades se observan equipos que requieren una cercanía mayor a la que presentan actualmente como la Centrifuga y el tanque sedimentador de jugo, así también los equipos de hidrólisis enzimática con la prensa hidráulica, en la siguiente etapa de relación de espacios refleja un total del espacio ocupado de 413.5 m² y el total de construcción es de 890m² lo que se refleja un espacio ocioso de 476.5 m². Considerando éstos resultados, se deja en evidencia la necesidad de realizar una redistribución de planta para optimizar lo espacios ociosos y aumentar la eficiencia de funcionamiento de las plantas 1G y 2G instaladas en la planta piloto de bioetanol del Instituto Tecnológico de Veracruz.

5. Referencias

- H.J. Vázquez y O. Dacosta (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas.
- Y. Zhu, and F. Wang, , “Study on the General Plane of Log Yards Based on Systematic Layout Planning,” *IEEE. Computer Society*, vol. 4, pp. 92–95, 2009. ^[1]_{SEP}
- Meyers, Fred y Stephens, Matthew. Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales, Editorial Prentice-Hall, México, 2006.
- Tompkins, J. White, J. Bozer, Y. Tanchoco, J., Planeación de instalaciones, Editorial Thomson, México, 2006. ^[1]_{SEP}
- S. Tenwong et al., “Productivity improvement for the lamp manufacturing, a dissertation for Master’s degree in Manufacturing Systems Engineering, School of Engineering,” King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 1991.
- Improvement Plant Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) for Increased Productivity GRACIDA RODRÍGUEZ, Jorge Noel, & PÉREZ-DÍAZ, Baruc. (2014). Previous factors involved in bioethanol production. *Revista internacional de contaminación ambiental*.

6. Notas Biográficas

La **Ing. Paulina Hoz Jáuregui**, Esta autora es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **MII. Gabriel Grosskelwing Núñez** es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

La **Dra. María Guadalupe Aguilar Uscanga** es PI. del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer), es responsable técnico del programa producción de biocombustibles en el ITVer y jefe del laboratorio de Bioingeniería. Tiene Doctorado en Ingeniería Química, opción Bioprocesos por la escuela de Ingeniería Química del Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo otorgado en la beca a la Ing. Paulina Hoz Jáuregui para la realización de este trabajo que forma parte de su tesis de Maestría en Ingeniería Industrial.

Infraestructura de medición de parámetros del lago de Chapala mediante IoT.

Julio César Chávez Novoa, MTI¹, MSC. Francisco Javier Luis Juan Barragán², MGTI. Miguel Ángel Delgado López³.

¹El MTI. Julio Cesar Chávez Novoa es profesor Investigador en la academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Chapala, Chapala, Jalisco, julio.chavez@chapala.tecmm.edu.mx

² El MSC. Francisco Javier Luis Juan Barragán es profesor y enlace de Investigación en la academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Chapala, Chapala, Jalisco, francisco.luisjuan@chapala.tecmm.edu.mx

³El MGTI. Miguel Ángel Delgado López es profesor Investigador en la academia de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior José Mario Molina Pasquel y Henríquez Campus Chapala, Chapala, Jalisco, miguel.delgado@chapala.tecmm.edu.mx

Resumen—La tecnología se presenta como pieza fundamental en la actualización de procedimientos manuales y el área de calidad líquidos no es la excepción, actualmente se realizan mediciones de parámetros como coeficiente de acidez (PH), turbidez y temperatura en grandes masas de líquidos como lo es Lago de Chapala Jalisco con pruebas en de campo, estas resultan ser costosas y con un alto grado de dificultad, dichas limitantes afectan rigurosamente la extracción de datos continuos en cortos periodos de tiempo, por tal motivo el presente trabajo emplea un mecanismo IoT para la reducir considerablemente las limitaciones previamente mencionadas al momento de realizar las mediciones de parámetros en el Lago. Al implementar una infraestructura para la medición se obtiene una gran cantidad datos importantes y vía GSM se transmiten a un Web Services con el propósito de generar información fiable para ser analizada y presentada a instituciones públicas y privadas de diferentes ámbitos que lo requieran. Este tipo datos permitirá realizar predicciones, históricos y una evaluación constante de la calidad del liquido que se encuentra en el lago.

Palabra(s) clave—Calidad de líquidos, Internet de las cosas, IoT, Medición de parámetros.

Abstract – The technology is presented as a fundamental piece in the update of manual procedures and the liquid quality area is no exception, currently parameter measurements are made such as acidity coefficient (PH), electrical conductivity (EC), turbidity and temperature in large masses of Liquids such as Lake Chapala Jalisco with field tests, these prove to be expensive and with a high degree of difficulty, such limitations strictly affect the extraction of continuous data in short periods of time, for this reason the present work employs a mechanism IoT to significantly reduce the previously mentioned limitations at the time of measuring the parameters in the Lake. When implementing the mechanism via GSM, data is transmitted to a Web Services with the purpose of generating a reliable history of the information to be analyzed and presented to public and private institutions of different fields that require it. This type of data will allow predictions, historical and a constant evaluation of the quality of the liquid that is in the lake.

Key words – Liquid quality, internet of things, IoT, Parameter measurement.

1. Introducción

Actualmente el lago de Chapala se considera como el lago más extenso del país tiene una capacidad total de 7,897 millones de metros cúbicos (Mm³) de los cuales el estado de Jalisco ocupa el 86% mientras que Michoacán el 14% (CEA Jalisco, 2016). El lago forma parte de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago que inicia al suroeste de la Ciudad de Toluca y se extiende aproximadamente 734 km. hasta dicho lago.

En los últimos años la calidad del agua en los diferentes ecosistemas que alberga el lago ha sido alterada en características físicas, químicas y biológicas, ya que el vital liquido que alberga se destina para distintas actividades como los son: recreativas, industriales, ganaderas, agrícolas y en gran medida para abastecer de agua potable los seres humanos.

El lago de Chapala presenta alteraciones en los niveles de almacenamiento y calidad de agua, esto es provocado por diversos motivos los cuales se mencionan a continuación. La reducción de la cantidad de liquido que se almacena en el lago en periodos secos se atribuye a la creación de estructuras para retener el agua de los ríos que lo abastecen beneficiando a la agricultura y la ganadería en distintas zonas de la cuenca, estas actividades generan aguas de retorno con diversos contaminantes perjudicando la calidad del liquido en todo momento además se ha construido un acueducto para abastecer de agua a la zona metropolitana de Guadalajara y aledañas. Por otro lado, se ha detectado mediante distintas investigaciones problemas por contaminación de aguas residuales debido a las descargas de los municipios que lo rodean, aunado a esto las empresas tiran sus

desechos en los ríos que desembocan en el mismo lago provocando graves daños al ecosistema y entorno que lo rodea (Consejo Consultivo del Agua, 2018). A pesar de estas problemáticas mencionadas la evaluación de la calidad del agua en el lago es aceptable, según los resultados de 28 estaciones de muestreo localizadas en puntos estratégicos (CONAGUA, 2019) las cuales realizan mediciones de campo dispersas en periodos amplios de tiempo.

El desarrollo de Internet de las cosas implica que cada vez más las conexiones a internet serán entre máquinas lo que hará posible que miles de millones de sensores y chips comuniquen los datos que registran para diversos usos, por ejemplo: ayudando a registrar el tráfico de las ciudades, a medir el consumo de energía del alumbrado público entre otras (Evans, 2011).

Este gran avance tecnológico permite consolidar la base para desarrollar una infraestructura y realizar la medición de parámetros “in situ” en periodos cortos de tiempo, detectar la concentración de los contaminantes en el Lago de Chapala y localizar con relativa rapidez del ingreso al sistema de compuestos perjudiciales a la biota y la salud humana. Todo lo mencionado tiene un aspecto de especial relevancia si se considera los diversos usos del agua y la importancia de la misma. A nivel científico, entender las interacciones entre los compuestos específicos y la integridad ecológica en el lago para, con esas bases, estar en condiciones de diseñar medidas de conservación, mitigación y estrategias de adaptación ya sea para instituciones públicas o privadas que requieran la información generada con el proyecto.

2. Desarrollo

La metodología propuesta para implementar la infraestructura y relizar la medición de parámetros se basa principalmente en 5 etapas las cuales se observan en la figura 1, estas etapas pretenden conjuntar los diversos procedimientos necesarios para efectuar la recolección de datos propuesta en la planeación del proyecto.



Figura 1. Etapas de la metodología.

En la primera etapa se generará una secuencia de captura de las diferentes señales que emiten los sensores considerados; el coeficiente de acidez (PH), turbidez y temperatura. Estos sensores como se puede constatar en la figura 2 son productos de fácil adquisición y su precio no hace de un alto costo, dichos sensores se alojarán dentro de una caja de almacenamiento perteneciente a una estructura y adaptada para proporcionar condiciones eléctricas, mecánicas y de comunicación al sistema todo esto mientras se encuentra alojada en una boya mariana en el interior del lago “in situ”, la adquisición y ordenamiento de datos (módulo crítico) en la infraestructura es fundamental para reducir el procesamiento de la segunda etapa y beneficia la transmisión de la información.

En la siguiente etapa (Procesar Información) se efectúan los procesamientos necesarios para ajustar los datos que se desean enviar al Web Services, este proceso se comprende de la segmentación y encapsulamiento de datos y la adecuación al estándar de transmisión requerido por la tecnología de comunicación a implementar, en este caso GSM, el protocolo implementado en el ordenamiento se diseña en base a especificaciones técnicas y de requerimientos todo esto determinado por el equipo de trabajo siendo indispensable para el procesamiento de la información.



Figura 2. Sensor implementado.

Una vez preparados los datos en la tercer etapa se comienza con la transferencia de información implementado la tecnología Global System for Mobile communications (GSM) mediante el Short Message Service (SMS) el cual determina el encapsulamiento y protocolos de comunicación entre emisor y receptor a utilizar para transferir la información, el beneficio de este servicio recae el bajo costo y la posibilidad de proporcionar geolocalización y comunicación entre máquinas. En la figura 3, se presenta el esquema del sistema de comunicación de la infraestructura el cual se considera como otro módulo crítico, en dicho esquema se puede observar los diferentes tecnologías que intervienen para cosolidar la comunicación de los diferentes módulos (Anónimo, n.d.).

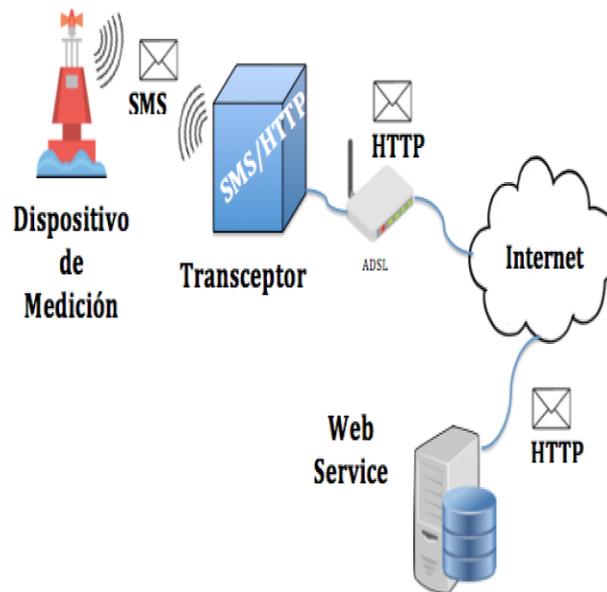


Figura 3. Esquema de comunicación de la infraestructura.

En la cuarta etapa se reciben en el Web Services los datos del dispositivo de comunicación mediante el uso de la red Internet y se da paso al desencapsulamiento de la información para el análisis y almacenamiento de las mediciones de los parámetros recolectados del lago en ciertos puntos estratégicos determinados en base al análisis previo de expertos en el tema. Esta información almacenada permite abastecer la aplicación considerada en la última etapa de desarrollo, la cual permitirá el procesamiento de la información para generar la presentación de los datos en diversos reportes, esto con el propósito de atender las solicitudes del usuario final ya sea entidades públicas o privadas según corresponda.

3. Resultados

A partir de la metodología y premisas planteadas se comenzó con los trabajos de desarrollo de la infraestructura enfocándose en los módulos críticos esto con el propósito de realizar pruebas de laboratorio.

El análisis de la problemática planteada y la consulta con expertos relacionada con la calidad de líquidos delimitó en primera instancia, la medición de ciertos parámetros principales como los son: coeficiente de acidez

(PH), turbidez y temperatura. Estos parámetros se pueden utilizar para deducir ciertas alteraciones en el lago e implementarse como base para otras deducciones científicas especialmente en niveles de contaminación de ahí su importancia e impacto en la investigación.

Se consideró un sensor analógico (figura 4) para la adquisición de datos relacionados con el coeficiente de acidez (PH) el cual permite un rango de concentración detectable 0 - 14 (grado de acidez de un objeto) en base a las especificaciones técnicas presentadas por proveedor, siendo que el lago presenta mediciones aproximadas en promedio 8.8 según el estudio realizado por investigadores del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente en 2018 (Juan Diego Sánchez Torres, 2018) el sensor considerado tiene la capacidad de poder captar el índice de PH presente en el lago.



Figura 4. Sensor de PH.

La turbidez en un líquido representa la contaminación sólida que contiene, es importante considerar que para este tipo de medición interviene un sensor capaz de detectar partículas en suspensión en el agua como el que se muestra en la figura 5, al observar su forma nos podemos percatar que dicho sensor debe estar en contacto constante con el líquido esto para realizar la medición de la transmitancia de luz y la frecuencia que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua de dispersión, lo cual ayuda a determinar la existencias de contaminantes sólidos en el área a estudiar.



Figura 5. Sensor de Turbidez.

El sensor que proporcionará la temperatura del lago presenta exactitud en sus mediciones dentro del rango -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$ siendo esto apropiado para los niveles históricos que sean presentado a lo largo de los registros generados por las dependencias públicas. En la figura 6 se puede observar el sensor mencionado el cual debido a su forma puede estar sumergido a mayores distancias que los sensores considerados para PH y turbidez.

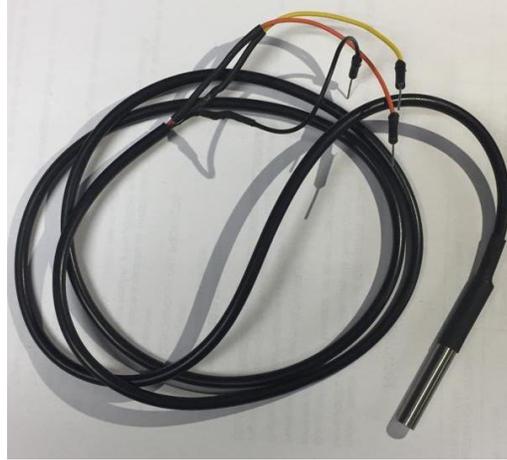


Figura 6. Sensor de Temperatura.

Este grupo de sensores es indispensable para la infraestructura de medición, el análisis de los datos que recolectan permitirá diseñar estrategias para la conservación de este tan importante lago.

Debido a la complejidad de las pruebas de campo de esta investigación, se determinó dos tipos de pruebas de laboratorio en módulos críticos esto con el propósito de tener evidencias del óptimo funcionamiento de la infraestructura, siendo primordial analizar su comportamiento básico en un ambiente controlado. Dichas pruebas se enfocaron en el módulo de captura de señales proporcionadas por los sensores y de comunicación al aplicar la tecnología GSM.

Para efectuar el análisis del módulo de captura de señales se desarrollo una arquitectura simple de conexión de los sensores con una plataforma de creación de electrónica de código abierto (Arduino) lo permitió cachar los datos que generan los sensores y así analizar las salidas con esta información se realiza una planeación apropiada del manejo de los mismos.

La muestra de agua para hacer las pruebas de los siguientes sensores se tomó de la Laguna de Chapala de dos diferentes puntos de esta, para así obtener valores diferentes, revisar los datos que generan y hacer las comparaciones de las lecturas, una vez teniendo dichos datos poder pasar a la fase de validación de estos.

El sensor PH se conecto a la placa Arduino siguiendo las configuraciones indicadas en el diagrama y se programo para obtener los valores, se introdujo en los contenedores de las tres muestras arrojando los siguientes valores que se muestran en la figura 7.

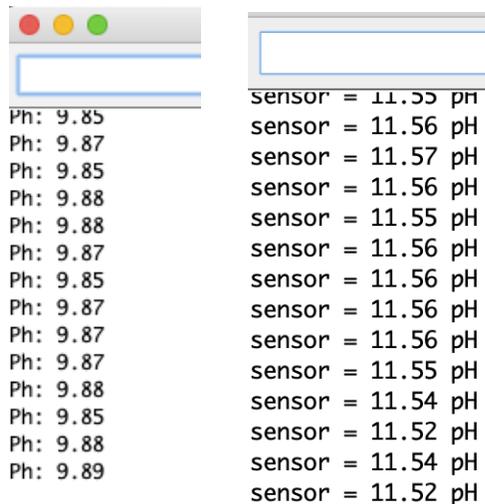


Figura 7. Muestras de medición de pH.

Dando como resultado las lecturas hechas en las dos muestras tomadas con el sensor de pH, que los niveles de acidez del agua esta por arriba de los parámetros establecidos como normales o dentro de los rangos autorizados y validados en el índice de la calidad del agua ICA. (SEMARNAT, 2019). Para el cálculo del pH con el sensor se utilizaron las fórmulas para obtener el volumen del pH (ecuación 1) y el valor final (ecuación 2)

$$pHvol = \frac{\frac{ValorAgua * 5.0}{1024}}{6}$$

Ecuación 1. Fórmula cálculo pH volumen

$$phValor = 5.70 * pHvol + 21.34$$

Ecuación 2. Fórmula cálculo del valor final del pH

Donde se utiliza la multiplicación de 5.0 y la división por 1,024 para hacer la conversión de una lectura analógica con voltaje de 0 a 5V. Con este sensor se obtuvo la turbidez del agua en las diferentes muestras tomadas de la laguna, arrojando los siguientes valores como se muestran en la figura 9.

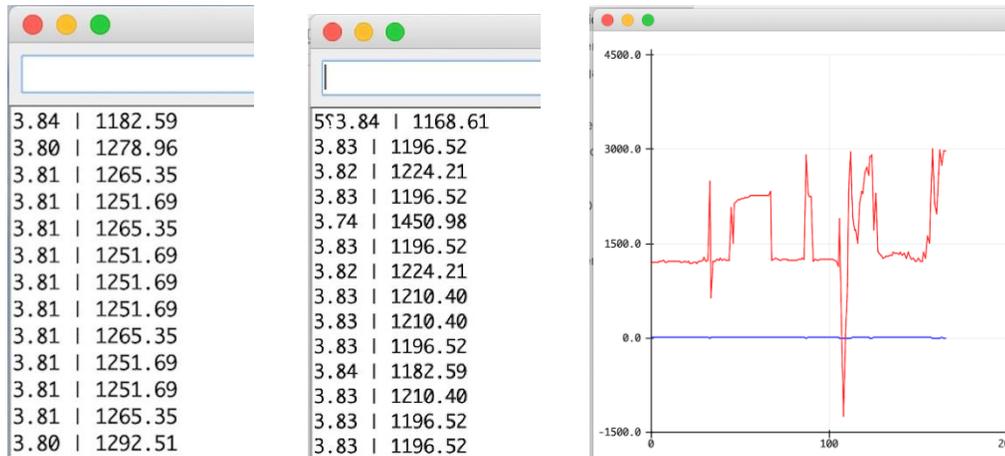


Figura 9. Muestras de medición de turbidez

Dando como resultado de las tres lecturas en diferentes puntos que el nivel de la turbidez es diferente, pero no varía mucho entre cada una de ellas. Para validar las mediciones se tendrá que hacer más pruebas en otros puntos diferentes y así sacar un estimado o promedio. Para el cálculo del grado de la turbidez se implemento la fórmula de la ecuación 3. Con la fórmula de la ecuación 4 se obtiene el grado de la turbidez del agua con el sensor de turbidez analógico.

$$voltaje = valorSensor * \frac{5.0}{1024}$$

Ecuación3. Conversión de la lectura analógica.

$$turbidez = (1120.4 * voltaje^2) + (5742 * voltaje) - 4352.9$$

Ecuación 3. Fórmula para obtener la turbidez del agua.

La temperatura que se obtuvo de los tres diferentes lugares de la laguna nos arrojó los siguientes datos, donde se puede ver que en las tres diferentes partes donde se realizó la pruebas el agua tiene diferentes temperaturas que varían de los 15 a los 19 grados. El análisis del módulo de comunicación en primera instancia se basó en una investigación referenciada con la cobertura del servicio de GSM en donde se involucraron distintos proveedores de servicios de comunicaciones (CSP), al concluir la investigación se determinó que el proveedor predominante en el país mantiene una cobertura del 100% del área en cuestión lo cual se puede constatar en la figura 10 esto permitió dar paso a un análisis de laboratorio del módulo y sentó las bases para desarrollar un protocolo de ordenamiento de información considerando los diversos datos procesados con sus respectivas especificaciones e información complementaria para la administración del servicio (IFT, 2015).

El protocolo de ordenamiento se diseñó considerando ciertos parámetros y comandos los cuales se pueden observar junto con la sintaxis en la figura 11. La programación en la cual se basó este protocolo de ordenamiento se origina en lenguaje arduino y una vez transferido por la tecnología de comunicación se recibe mediante el lenguaje JAVA. Cada entramado transmitido al ser recibido en el receptor se verifica y se almacena para su posterior uso.



Figura 10. Cobertura servicio GSM. (TELCEL, 2019).

<¡A01,COM:SYN,DA:"mm/dd/yy_hh:mm:ss",AL:"Nggg*mm'ss",
LO:"Nggg*mm'ss"!(TE:"+000.0000",PH:"00.0000",CO:"0.000")>

<¡Parámetros obligatorios||comandos!(Medición de
parámetros)>

Figura 11. Protocolo de ordenamiento.

Para analizar el comportamiento de este módulo se agrego a la arquitectura antes mencionada un complemento de comunicación SIM900 como se muestra en la figura 12 el propósito de esta acción es entablar una serie de pruebas de comunicación involucrando hardware, CSP y la red GSM implementado test de conectividad, de datos aleatorios e información generada en el laboratorio mediante un metodo de programación basdo en leguaje Arduino. La interrelación de entre los diferentes agentes que intervienen el módulo resultado favorable para una futura prueba de campo dando certeza a los trabajos planteados en la investigación y generando información fiable en un determinado periodo de tiempo.

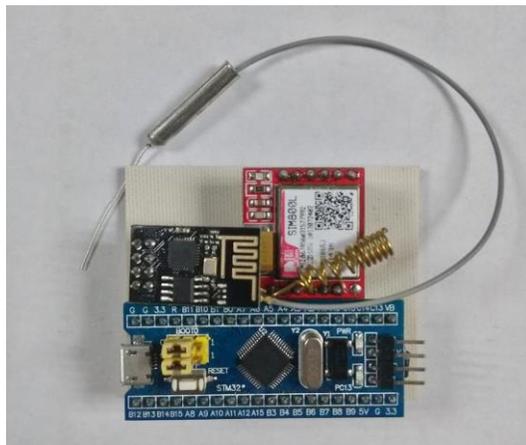


Figura 12. Módulo de comunicación.

Las pruebas mencionadas se realizaron con software y hardware abierto, la implementación de un CSP recae en la necesidad de una comunicación remota a bajo costo y con altos niveles de eficiencia al aplicarla como un medio de comunicación en un lenguaje de maquina a maquina. El resultado de la transferencia de información se ve reflejado en la base de datos del Web Services (figura 13) y mediante una aplicación web desarrollada exclusivamente para la prueba efectuada como se muestrea en la figura 14.

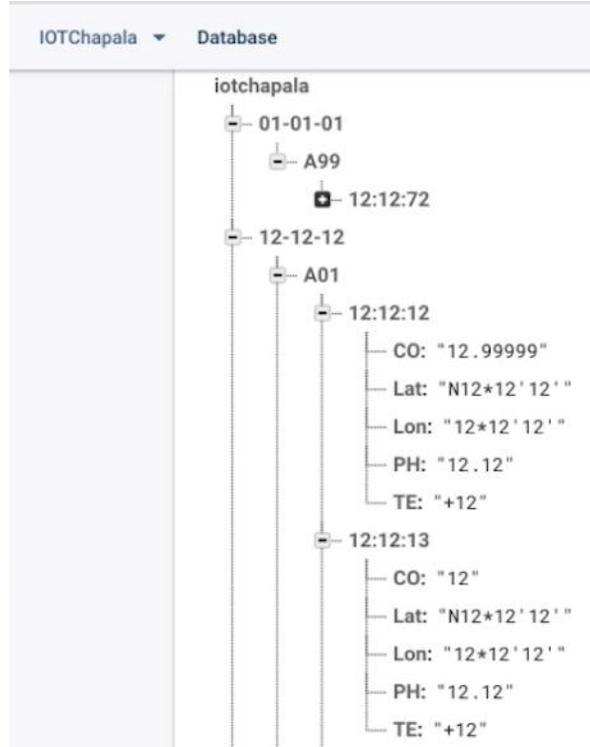


Figura 13. Base de datos del Web Services.



Figura 14. Aplicación web.

Tomando como referencia los resultados obtenidos en las distintas pruebas se puede observar la transmisión de los datos generados a un Web Services esto aumentan la probabilidad de éxito del proyecto y permite avanzar a la generación de un prototipo para realizar pruebas de campo.

4. Conclusiones

Las diferentes pruebas efectuadas en el laboratorio permitieron conocer el comportamiento de los sensores en cuestión dichas pruebas se realizaron en base a especificaciones técnicas del fabricante y de los expertos entrevistados los cuales supervisaron la obtención de datos y corroboraron la fiabilidad de los mismos, esto es de suma importancia para los trabajos consecuentes del proyecto. Los datos transferidos en base al protocolo desarrollado no sufrieron ninguna alteración al llegar a destino, el desecapsulamiento aplicado a los datos permitió comparar con el mensaje original, la prueba de transmisión de información se realizó mediante un método random con cierto periodo de tiempo esto con el propósito de efectuar una prueba general del módulo de comunicación.

Según los resultados obtenidos en los diferentes análisis efectuados se puede observar que los sensores implementados son factibles para la adquisición de datos en el sistema y que la transmisión de los mismos se puede realizar de manera constante y fiable por lo tanto las pruebas preliminares resultaron favorables con respecto a lo indicado en la planeación del proyecto. El poder comprobar con pruebas de laboratorio los módulos críticos permite considerar avanzar a la siguiente etapa del proyecto, en la que se contempla consolidar un prototipo de campo para efectuar mediciones fuera de un ambiente controlado por un determinado tiempo.

5. Referencias

- Comisión Estatal del Agua Jalisco. (2016) *Lago de Chapala*. Recuperado el 28 de marzo de 2019, de <https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/chapala/>
- Consejo Consultivo del Agua. (2018). *Situación y contexto de la problemática del agua en México*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de https://www.aguas.org.mx/sitio/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=66&Itemid=113
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Calidad del agua en México*. Recuperado el 28 de marzo de 2019, de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- Animal Político. (2019). *70% de lagos, lagunas y acuíferos de México están contaminados, revela informe*. Recuperado el 04 de abril de 2019, de <https://www.animalpolitico.com/2017/07/acuiferos-contaminados-informe/>
- Evans, D. (2011). *Internet of Things La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo*. Recuperado el 04 de abril 2019, de https://www.cisco.com/c/dam/global/es_es/assets/executives/pdf/Internet_of_Things_IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Sánchez-Torres, J.D., Nuño-Sánchez, S.A., Martínez-Alvarado, J.C. & Ruiz-Cruz, R. (2018). *Reporte de análisis de datos de calidad del agua del Lago de Chapala*. Recuperado el 05 de abril 2019, de <http://hdl.handle.net/11117/5614>
- Instituto Federal de Telecomunicaciones (2015) *Mapa de cobertura móvil*. Recuperado el 08 de abril 2019, de <http://coberturamovil.ift.org.mx/>
- Anónimo (n.d.) *Red GSM*. Recuperado el 10 de abril 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F4+Red+GSM.pdf>
- SEMARNAT. (2019). *Indicadores de la Calidad del Agua*. Recuperado el 3 de Mayo de 2019, de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- TELCEL (2019). *Mapas de cobertura*. Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de https://www.telcel.com/mundo_telcel/quienes-somos/corporativo/mapas-cobertura
- Victor W. Rodwell, David A. Bender, Kathleen M. Botham, Peter J. Kennelly, P. Anthony Weil. (2016). *Bioquímica ilustrada*. USA: McGraww Hill.
- Edgar Vázquez Contreras, Tania Guadalupe Rojas Pérez. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Griselda Stephany Abarca Jiménez, Jesús Mares Carreño y Leonel Germán Corona Ramírez. (2014). *Sensores y actuadores, aplicaciones con arduino*. México: Grupo Editorial Patria.

6. Notas Biográficas

El **MTI Julio César Chávez Novoa** es encargado de la Academia CISCO (ID 20044389) y profesor-investigador de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríques Campuz Chapala. Tiene el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.

El **MSC Francisco Javier Luis Juan Barragán** es enlace de investigación y profesor-investigador de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríques Campuz Chapala. Tiene el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.

El **MGTI Miguel Angel Delgado López** es profesor-investigador de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríques Campuz Chapala. Tiene el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.

