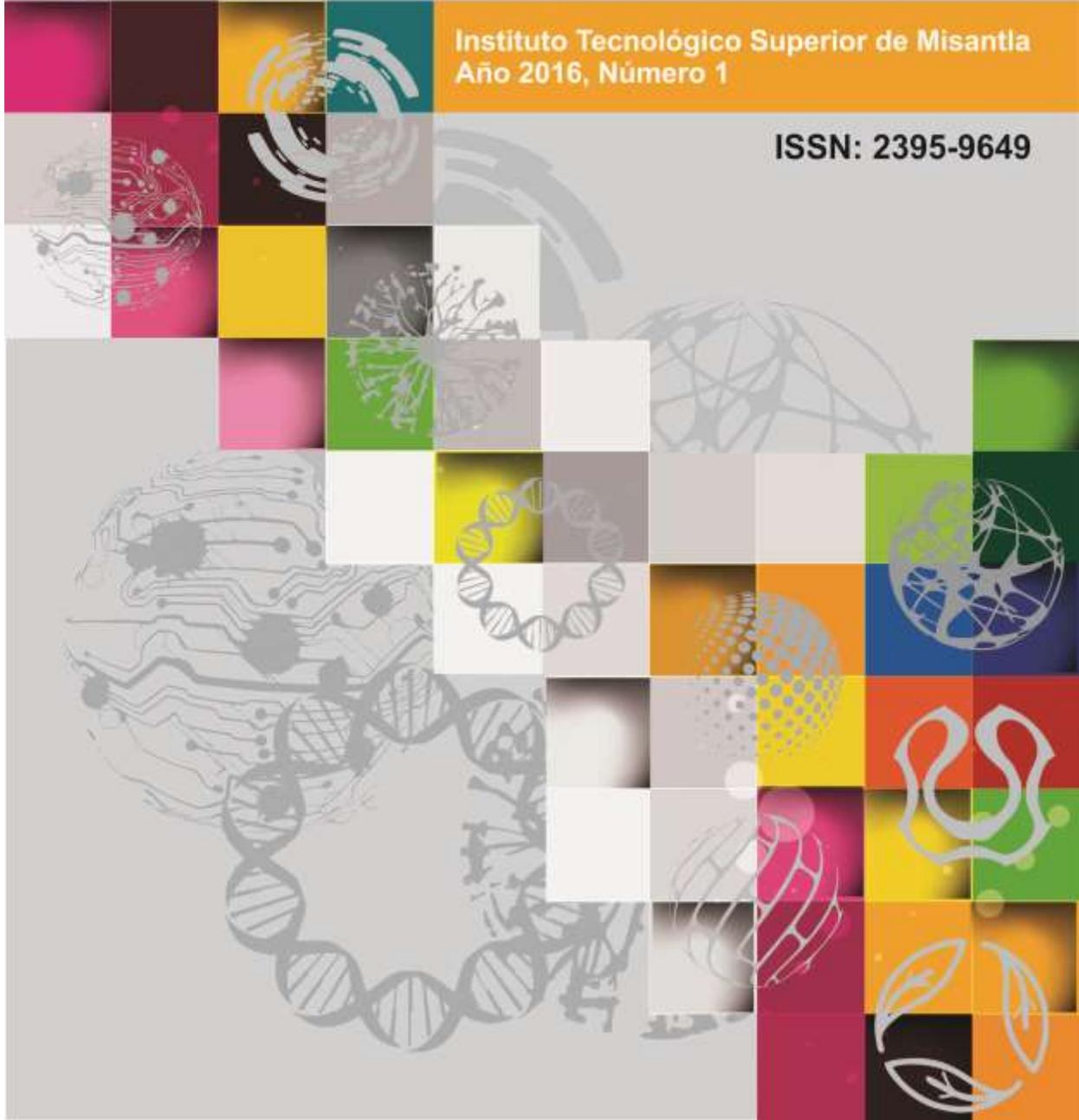




Congreso Interdisciplinario de Ingenierías

Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Año 2016, Número 1

ISSN: 2395-9649



Información Legal

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías, Año II, Número I, diciembre 2016, 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 electrónico legarcias@itsm.edu.mx, página web www.itsm.edu.mx, <http://pmii.itsm.edu.mx>. Editor responsable: MIA. Luis Enrique García Santamaría. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-060211490600-203, ISSN 2395-9649, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Coordinación de la Maestría en Ingeniería Industrial ITSM, MII. Margarito Landa Zárate, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 24 de Junio de 2015.

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 2016.

CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

Año II | No. I

Subsecretaria de Educación Superior

Dirección General de Educación Superior Tecnológica

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Congreso Interdisciplinario de Ingenierías

CII 2016

Directorio

Director General ITSM, México

Dr. José Alberto Gaytán García

Subdirectora Académica ITSM, México

M.S.I. Ana Lilia Sosa Y Durán

Director de Planeación y Vinculación ITSM, México

M.A. José Edgar Soto Meneses

Director de Servicios Administrativos ITSM, México

Mtro. Reyes Pérez y Cano

Coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial ITSM, México

MII. Margarito Landa Zárate

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

MIA. Luis Enrique García Santamaría

Comité de Revisión

Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM, México

Dr. Luis Mejía Macario, ITSM, México

Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM, México

Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM, México

Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM, México

MII. Carlos Ángel Vicente Rodríguez, ITSM, México

MII. Margarito Landa Zárate, ITSM, México

M.C. Sandra Guadalupe García Aburto, ITSM, México

MII. Marieli Lavoignet Ruiz, ITSM, México

MII. Gabriel Grosskelving Núñez, ITSM, México

MIA. Luis Enrique García Santamaría, ITSM, México

Corrección de Estilo

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas ITSM, México

Diseño Editorial

Lic. Erik Balderas González ITSM, México

Lic. Guillermo Carmona Villegas ITSM, México.

Distribución

Publicación electrónica disponible

en citt.itsm.edu.mx/documentos/cii/cii2014interdisciplinario.pdf

Correo electrónico: congreso2016@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 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

Constructo Teórico que resuelve el problema de una configuración de red de acopio de leche bronca en el Estado de Veracruz	.....	8-14
<i>Mario Pérez Acosta, Ing.¹, Ing. Karen Pamela Álvarez Villagómez², MII. Eduardo Fernández Echeverría³, Ing. Rogelio Arroyo Cruz⁴, Ing. Julio Edgar Peralta Rodríguez⁵</i>		
Diagnóstico del transporte de carga terrestre propio y/o tercerizado. Caso de estudio: Exportadora de cítricos.	.....	15-21
<i>Rafael Cuellar Lázaro, Ing.¹, Dr. Gregorio Fernández Lambert², Ing. Isaías Julián Sarmiento³, M. C. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Ramsés González Aguilar⁵</i>		
Enfoque de estudio territorial apoyado de Sistemas de Información Geográfica para definir territorios apícolas en Misantla, Veracruz-México.	.....	22-27
<i>Juan Gabriel Roque Peña, Ing.¹, Ing. Giovanni Luna Chontal², Dr. Gregorio Fernández Lambert³, Ing. Isaí Tiburcio Álvarez⁴, Ing. Tito Armando Hernández y González⁵</i>		
Enriquecimiento proteico de residuos orgánicos vegetales mediante fermentaciones en estado sólido (FES) con <i>Penicillium digitatum</i>	.....	28-34
<i>Esmeralda Abigay García Suarez¹, Mayra Durán Cordova², Dr. Gustavo Martínez Castellanos³, Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, MC. Oswaldo Castor Ortiz Zamora⁵</i>		
Diseño de un Mesocosmo de Humedal Construidos con Materiales Alternativos Para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Comunidad de Pastorías Actopan, Ver.	.....	35-43
<i>Luis Carlos Sandoval-Herazo¹, Dr. José Luis Marín-Muñiz², Dr. Alejandro Alvarado-Lassman³, Raúl Castelan⁴, Donato Ramírez López⁵</i>		
Aplicación de programación binaria entera: caso de estudio en una distribuidora de zapatos por catálogo	.....	44-49
<i>Hugo Alberto Bravo Quintero Ing.¹, Ing. José Aparicio Urbano², Dr. Gregorio Fernández Lambert³</i>		
Modelo de programación lineal para integrar producción, ventas e inventario en la Quesería “Los Luna”	.....	50-59
<i>González Ávila Edwin Arturo, Ing.¹, Ing. Jenny Besiche Barranco², M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez³, M.I.I. Eduardo Fernández Echeverría⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵</i>		
Clasificación de café mediante lógica difusa	.....	60-65
<i>Jazmín Alejandra Segovia Cano Ing. 1, M.C. Sandra Guadalupe García Aburto², MIA. Roberto Ángel Meléndez Armenta³, MII. Margarito Landa Zarate⁴</i>		
Medición de la satisfacción del cliente con Likert-difuso	.....	66-72
<i>Ana Roselyn Pérez Méndez, Ing.¹, Ing. José de Jesús Mendoza Osorio², Ing. Franti Núñez Álvarez³, Lic. Carlos Rafael Becerra Simón⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵</i>		
Modelación de escenarios mediante programación lineal y muestreo aleatorio simple.	.....	73-80
<i>José Aparicio Urbano, Ing.¹, Ing., David Borjas Fernández², MII. Gabriel Grosskelwing Núñez³ MIA. Luis Enrique García Santamaría⁴</i>		
Modelo de decisión como soporte de compra de ganado vacuno diseñado en lógica difusa	.....	81-87
<i>Benito Hernández Francisco, Ing.¹, Ing. Diana Dorantes Reyes², Ing. Jesús Castellanos Rivera³, Ing. Carlos G. Hernández Sanchez⁴, Ing. Gustavo Gómez Aguilar⁵</i>		
Modelo de optimización para las rutas de venta en la Panadería Zayas	.....	88-94
<i>Alain Gabriel García Martínez, Ing.¹, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Dr. Gregorio Fernández, Lambert³, Ing. Valentín Blanco Bustamante⁴, Ing. Víctor Alfredo de los Santos Jimeno⁵</i>		
Plan de Producción para la empresa “Repostería Artesanal Juanita” de Misantla, apoyado en la Programación Lineal	.....	95-103

<i>Keila Madai Morales Duran, Ing.¹, Ing. Laura Rebeca Sesma Barradas², MII. Gabriel Grosskelwing Núñez³, Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵</i>		
Planeación Sistemática de la Distribución y Problema de Asignación Cuadrática aplicada a una Panadería	.....	104-118
<i>Gema del C. Jiménez Gómez, Ing.¹, Dr. Isidro Rodríguez Montoro², Dr. Gregorio Fernández Lambert³, MII. Margarito Landa Zarate⁴, Dr. Juan Manuel Carrión Delgado⁵.</i>		
Producción de tacos en la región de Misantla Apoyada en la Programación Lineal	.....	119-125
<i>Flor Idalia Tirado Aguilar, Ing.¹, Ing. Israel Zarate Hernández², Ing. Pablo Colorado Posadas³, Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez⁵.</i>		
Propuesta metodológica para aplicar Kaizen en una línea manufacturera del sector automotriz	.....	126-132
<i>Ing. Israel Zárate Hernández ¹, MAI. Saúl Santiago Cruz ², MII. Margarito Landa Zárate ³.</i>		
Teoría de restricciones: Un caso de estudio en el proceso de empaque de lima persa en el Municipio de Martínez de la Torre.	.....	133-142
<i>Isaías Julián Sarmiento. Ing¹, Dr. Gregorio Fernández Lambert², Ing. Rafael Cuellar Lázaro³, Dr. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Héctor Giovany Vázquez Rodríguez⁵.</i>		
Trashumancia Apícola en la Región de Misantla, Veracruz	.....	143-148
<i>Giovanni Luna Chontal, Ing.¹, Ing. Juan Gabriel Roque Peña², Dr. Gregorio Fernández Lambert³, Ing. Isaí Tiburcio Álvarez⁴, MII. Margarito Landa Zárate⁵.</i>		
Manejo del maní forrajero (<i>arachis pintoi</i>) como una alternativa en el control de la maleza en una plantación de cítricos-café en el Municipio de Misantla, Veracruz.	.....	149-155
<i>Margarito Landa Zarate. M.I.I.¹, M.I.I. Tito Armando Hernández y González², Ing. Giovanni Luna Chontal³, Dr. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Ing. Juan Gabriel Roque Peña⁵.</i>		

Constructo Teórico que resuelve el problema de una configuración de red de acopio de leche bronca en el Estado de Veracruz

Ing. Mario Pérez Acosta¹, Ing. Karen Pamela Álvarez Vilgómez², M.I.I. Eduardo Fernández Echeverría³
Ing. Rogelio Arroyo Cruz⁴, Ing. Julio Edgar Peralta Rodríguez⁵

¹ Mario Pérez Acosta, es alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. e-mail: marioperez@itsm.edu.mx

² Karen Pamela Álvarez Villagómez, es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. e-mail: 152t0707@itsm.edu.mx

³ Eduardo Fernández Echeverría, es profesor de tiempo completo dentro del Programa de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. e-mail: ii_efernandez@hotmail.com

⁴ Rogelio Arroyo Cruz, es profesor de tiempo completo en el área de electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. e-mail: rogelioarroyocruz@itsm.edu.mx

⁵ Julio Edgar Peralta Rodríguez es alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. e-mail: 152t0721@itsm.edu.mx

Resumen— Se presenta el Constructo Teórico que resuelve el problema de configuración de una red de acopio de leche bronca en el Estado de Veracruz, como un problema biobjetivo, con restricciones de capacidad de transporte, y nivel de proveeduría incierta. Este caso de estudio se atiende como una problema que busca minimizar los costos de operación y transporte de leche de los emplazamientos seleccionados y maximizar el aseguramiento del abastecimiento de la leche al menor costo con selección de transporte a carga fija. La literatura universal sobre localización de instalaciones, y los elementos de información que se integran en este caso de estudio, advierten alcanzar una solución a este problema apoyado en la programación matemática y algoritmos inspirados en la naturaleza.

Palabra(s) clave— Red de acopio. Cuenca lechera. Programación lineal.

Abstract – Next theoretical construct solves the problem of setting up a network for collecting raw milk in the state of Veracruz as a bi-objective problem with transport capacity constraints and uncertain supply. This study case serves as a problem that seeks to minimize the assurance of supply of milk at the lowest cost with selection of fixed load transport. World literature on location of facilities, and the information element that are integrated in this problem relied on mathematical programming and algorithms inspired by nature.

Key words : Red collection, Dairy area , Linear programming.

1. Introducción

El diseño de redes de distribución es una decisión estratégica que busca optimizar los recursos desde dos perspectivas. La primera, y quizá fundamental de toda organización, reducir los costos del transporte o acercamiento de las mercancías, y la segunda, el aprovechamiento óptimo, propiamente dicho, de las unidades de transporte que la empresa tiene en su parque vehicular.

En cualquiera de los casos, el problema de redes de distribución, es un problema bastante atendido por investigadores, y al respecto existe una vasta literatura que incide principalmente, para el diseño de la red de distribución, en la localización de instalaciones, y el ruteo de camiones, con objetivos básicos de minimizar los costos por el transporte o de maximizar tiempos de respuesta de servicio al cliente, entre supuestos fundamentales relacionados con los costos logísticos de una cadena de suministro. Sin embargo, la evaluación del riesgo por abastecimiento de material a las empresas, se ha convertido en un área de exploración importante para la gestión de la cadena de suministro de toda empresa.

Diversos han sido los modelos que se han reportado en la literatura para ayudar en la tarea de diseñar la configuración de la red que, en lo general, tratan de evaluar posibles alternativas de emplazamiento, olvidando aquellas que en un momento han servido en el pasado, y como tales, ellas ya tienen una infraestructura como tal establecida para el servicio de acopio y/o distribución (Vidal & Goetschalckx, (1997); Zhi-Long Chen (2004); Chen (2010). Dentro de este contexto, los métodos de solución han llevado a los investigadores a utilizar técnicas relacionadas con

la inteligencia artificial, haciendo que hoy en día, el uso de ellas en este tipo de problemas, sea bastante común observar su utilización.

El caso particular de este estudio, trata de la configuración óptima de la red de acopio de leche bronca para una industrializadora de leche. El antecedente de este estudio, ha sido tratado por Romero et al. (2014), en el que se propone un modelo en programación lineal mono-objetivo para seleccionar tres centros de acopio de siete posibles emplazamientos; llegando a la solución que los centros de acopio que deben ser abiertos son los emplazamientos ubicados en Libres, Pue., y Colipa, Ver., con la alternativa del tercer centro en Palma Sola, y en Ozuluama, ambos en el estado de Veracruz, sin embargo, la alternativa de activar a Ozuluama como centro de acopio lechero, motiva este estudio, toda vez que, la ubicación geográfica de Ozuluama, si bien se presenta como una cuenca lechera que demuestra un aumento en su producción de leche, el tiempo de transporte representa un factor que debe ser también evaluado.

El contexto de la investigación busca configurar una red de acopio óptima para recolectar la leche bronca en el estado de Veracruz, con el objetivo de ser suministrado a una industrializadora, ubicada en la capital del estado, se extiende a un mayor número de emplazamientos con respecto al trabajo de Romero et al. (2014), para que sea estudiado la posibilidad de localizar tres centros de acopio, sujeto al transporte de la leche por medio de dos modos de transporte con restricciones de capacidad, y considerando la tendencia de producción de leche de los emplazamientos sujetos de estudio.

Para atender este problema de localización, este artículo presenta el Constructo Teórico en las siguientes secciones de este documento: la sección dos describe en enfoque teórico que sustenta la configuración óptima de la red de acopio. La sección tres plantea el caso de estudio, dentro del cual se caracterizan los términos, variables, y elementos de información que asume la solución para la configuración de la red de acopio; y finalmente, una sección de conclusiones.

2. Desarrollo

Método.

El cómo tratar numéricamente un problema de localización depende, fundamentalmente, del número de sitios candidatos a elegir, el número de variables inmersas en la decisión, y los factores y/o elementos implicados en la decisión de localización. Esto es evidente tanto para el caso unicriterio como para el multicriterio. Los problemas de la p -mediana son modelos básicos de localización sobre redes donde las longitudes de las aristas (distancias) y los pesos de los vértices (demandas) son conocidos. El problema de la p -mediana consiste en encontrar p puntos de la red de modo que se minimice la distancia total ponderada entre estos puntos y los vértices.

Como análisis preliminar de este estudio se han definido los objetivos que se han traducido en los requerimientos para el diseño de la red de acopio; las alternativas de centros de acopio candidatos tomando en cuenta a los centros activados, aquellos que han sido utilizados en el pasado, y potenciales centros de acopio. De cada uno de los emplazamientos se recogió información acerca de la capacidad como cuenca lechera, tomando en cuenta que el sitio elegido como alternativa, es necesariamente el sitio en donde se produce el mayor volumen de leche en su región, y en consecuencia pudiendo ser necesariamente o No, mayores los costos de operación del Centro de Acopio. A partir de las características y restricciones de la red de proveeduría podrá definirse el modelo en programación matemática más adecuado al objetivo del estudio.

Antecedentes de la investigación.

A partir de Romero et al. (2014) se ha planteado que la configuración óptima de la red de acopio de leche bronca, parte de la selección óptima de los emplazamientos para elegir tres sitios de ellos y activarlos como centros de acopio basado para acopiar y transportar la leche fresca al menor costo global de la red de acopio, así como el costo de operar el centro de acopio para la conservación en cámaras de enfriamiento de la leche fresca en el Centro de Acopio en tanto se reúne la leche y se conserva, hasta su traslado a la planta industrializadora por medio de dos tipos de transporte a carga máxima. El caso se resuelve de forma mono-objetivo, modelando dos escenarios basados por tipo de unidad de transporte, y resulta común en ambas soluciones que el sitio de Libres y Colipa. La Figura 1 describe la solución de dos escenarios a partir del modo de transporte a carga fija.

Como trabajo futuro se planteó la oportunidad de minimizar el riesgo de desabasto, y evaluar el modo de transporte con restricciones de carga. Es motivo de estudio el primer aspecto, a partir del comportamiento presentado en la tendencia de producción de leche en cada cuenca lechera; que en algunos casos, ésta puede presentarse a la alza, mantenerse, o bien presentar un descenso en la producción. Este comportamiento genera la inquietud de llegar a

seleccionar un sitio que conlleve el riesgo, por su tendencia de producción, de caer en un desabasto de leche. Con el segundo aspecto, y con base a los resultados del antecedente de solución, se trata de configurar una red de acopio que permita programar los modos de transporte de acuerdo a la necesidad de abastecimiento. Esto es, no sólo asumir que de forma permanente que siempre se utilizará el mismo medio de transporte.



Figura 1.a: Red de Acopio óptima en modo de transporte de diez mil litros.

Figura 1.b: Red de Acopio óptima en modo de transporte de veinte mil litros.

Centros de Acopio actuales [●], cerrados [▲], y potenciales [■]

Figura 1. Configuración de Red de Acopio que minimiza los costos de transporte.

Elementos de información que configura la Red de Acopio Bi-Objetivo.

El problema de configuración de la red de acopio de leche bronca, considera dos objetivo estratégicos:

- Minimizar los costos de transporte como un función de la distancia por recorrer, el modo de transporte, y los gastos de operación del centro de acopio.
- Maximizar el abastecimiento de leche, en función de la tendencia de producción de leche de cada emplazamiento objeto de estudio.

Parámetros/información del estudio:

- La distancia entre emplazamiento y planta industrial.
- La capacidad de carga y condicionamiento de transporte del Tipo de transporte.
- La tendencia de producción del potencial Centro de Acopio.
- Los costos por transporte por Tipo de transporte.
- Los costos fijos de operación del Centro de Acopio objeto de estudio.
- El nivel de proveeduría del Centro de Acopio objeto de estudio.
- La capacidad de producción incierta de la industrializadora de leche.

Consideraciones del diseño de la Red de Acopio:

- La carga del transporte, cualquiera que sea el Tipo de transporte, debe moverse con cuando menos 50% de su capacidad de transporte.
- El nivel de proveeduría del Centro de Acopio objeto de estudio es incierto.
- El tiempo de traslado del emplazamiento a la planta industrializadora.

Datos del estudio:

En la Figura 2 se describen once cuencas lecheras; todas objeto de estudio. Cada Cuenca lechera esta integrada por un grupo de municipios, dentro de las cuales se distingue uno con mayor volumen de producción. Bajo esta consideración de mayor productor, se identifica al mayor productor como sitio potencial para la instalación de un Centro de Acopio. Los sitios con mayor volumen de producción se muestran en la Figura 3, la cual también refleja su comportamiento histórico de producción de leche.

La Tabla 1 describe la distancia entre nodos de sitios objeto de estudio, mientras que la Tabla 2, los tiempos de traslado entre ellos.

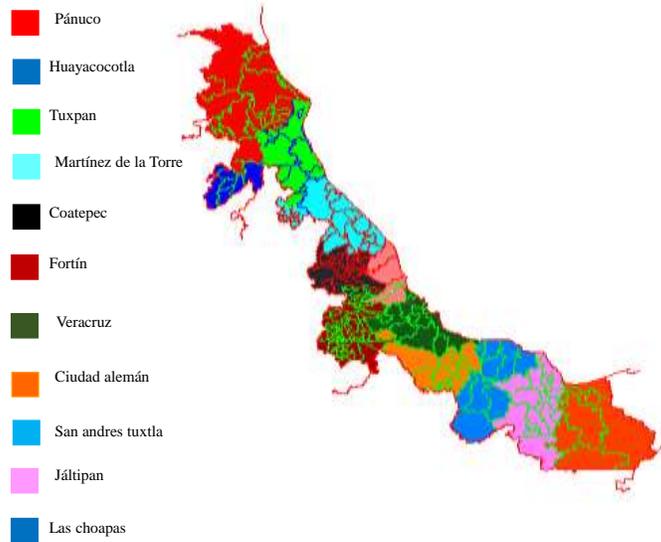


Figura 2. Cuenca lecheras definidas en el Estado de Veracruz por la SAGARPA/SIAP (2006-2015).

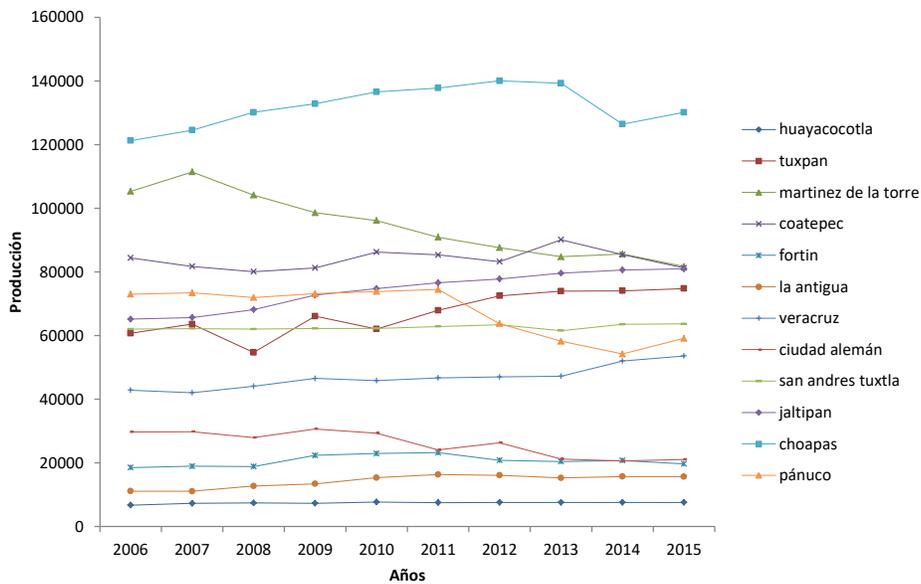


Figura 3. Tendencia de producción de potenciales Centros de Acopio. SAGARPA/SIAP (2006-2015).

DISTRITO	Columna1	HUAYACOCOTLA	TUXPAN	MARTINEZ DE LA TORRE	COATEPEC	FORTIN	LA ANTIGUA	VERACRUZ	CIUDAD ALEMAN	SAN ANDRES TUXTLA	JALTIPAN	CHOAPAS	PANUCO	Columna2
	MUNICIPIO	Ixhuatlán de Madero	Tuxpan	Papantla	Acajete	Huatusco	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	Tlalixcoyan	Tierra Blanca	Playa Vicente	Jesús Carranza	Minatitlán	Ozuluama de Mascareñas	xalapa
HUAYACOCOTLA	Ixhuatlán de Madero	0	126 km	156 km	279 km	408 km	326 km	405 km	453 km	593 km	668 km	644 km	160 km	365 km
TUXPAN	Tuxpan	126 km	0	82,9 km	301 km	334 km	252 km	330 km	379 km	519 km	594 km	570 km	112 km	317 km
MARTINEZ DE LA TORRE	Papantla	156 km	82,9 km	0	316 km	273 km	191 km	269 km	318 km	458 km	533 km	509 km	509 km	256 km
COATEPEC	Acajete	279 km	301 km	316 km	0	197 km	185 km	260 km	249 km	389 km	464 km	440 km	391 km	147 km
FORTIN	Huatusco	408 km	334 km	273 km	197 km	0	153 km	151 km	144 km	284 km	359 km	335 km	448 km	88,1 km
LA ANTIGUA	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	326 km	252 km	191 km	185 km	153 km	0	175 km	223 km	364 km	438 km	414 km	366 km	38,7 km
VERACRUZ	Tlalixcoyan	405 km	330 km	269 km	260 km	151 km	175 km	0	64,6 km	184 km	258 km	234 km	445 km	145 km
CIUDAD ALEMAN	Tierra Blanca	453 km	379 km	318 km	249 km	144 km	223 km	64,6 km	0	117 km	249 km	225 km	500 km	193 km
SAN ANDRES TUXTLA	Playa Vicente	593 km	519 km	458 km	389 km	284 km	364 km	184 km	117 km	0	134 km	176 km	641 km	334 km
JALTIPAN	Jesús Carranza	668 km	594 km	533 km	464 km	359 km	438 km	258 km	249 km	134 km	0	116 km	716 km	408 km
CHOAPAS	Minatitlán	644 km	570 km	509 km	440 km	335 km	414 km	234 km	225 km	176 km	116 km	0	696 km	384 km
PANUCO	Ozuluama de Mascareñas	160 km	112 km	509 km	391 km	448 km	366 km	445 km	500 km	641 km	716 km	696 km	0	507 km
	XALAPA	365 km	317 km	256 km	147 km	88,1 km	38,7 km	145 km	193 km	334 km	408 km	384 km	507 km	0

Tabla 1. Distancias entre potenciales Centros de Acopio.

DISTRITO	Columna1	HUAYACOCOTLA	TUXPAN	MARTINEZ DE LA TORRE	COATEPEC	FORTIN	LA ANTIGUA	VERACRUZ	CIUDAD ALEMAN	SAN ANDRES TUXTLA	JALTIPAN	CHOAPAS	PANUCO
	Municipio	Ixhuatlán de Madero	Tuxpan	Papantla	Acajete	Huatusco	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	Tlalixcoyan	Tierra Blanca	Playa Vicente	Jesús Carranza	Minatitlán	Ozuluama de Mascareñas
HUAYACOCOTLA	Ixhuatlán de Madero	0	2h 20 min	2h 38 min	4h 24 min	6h 26 min	5h 57 min	6h 13 min	6h 51 min	8h 23 min	9h 9 min	8h 38 min	2h 43 min
TUXPAN	Tuxpan	2h 20 min	0	1h 8 min	3h 49 min	4h 54 min	4h 26 min	4h 41 min	5h 19 min	6h 52 min	7h 37 min	7h 6 min	2h 4 min
MARTINEZ DE LA TORRE	Papantla	2h 38 min	1h 8 min	0	4h 0 min	4h 15 min	3h 46 min	4h 2 min	4h 40 min	6h 12 min	6h 58 min	6h 27 min	3h 1 min
COATEPEC	Acajete	4h 24 min	3h 49 min	4h 0 min	0	2h 55 min	2h 49 min	3h 19 min	3h 10 min	4h 42 min	5h 28 min	4h 56 min	5h 32 min
FORTIN	Huatusco	6h 26 min	4h 54 min	4h 15 min	2h 55 min	0	2h 40 min	2h 27 min	2h 20 min	3h 52 min	4h 38 min	4h 6 min	6h 47 min
LA ANTIGUA	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	5h 57 min	4h 26 min	3h 46 min	2h 49 min	2h 40 min	0	2h 44 min	3h 23 min	4h 55 min	5h 41 min	5h 9 min	6h 22 min
VERACRUZ	Tlalixcoyan	6h 13 min	4h 41 min	4h 2 min	3h 19 min	2h 27 min	2h 44 min	0	1h 21 min	2h 53 min	3h 39 min	3h 7 min	6h 35 min
CIUDAD ALEMAN	Tierra Blanca	6h 51 min	5h 19 min	4h 40 min	3h 10 min	2h 20 min	3h 23 min	1h 21 min	0	2h 5 min	3h 23 min	2h 51 min	7h 16 min
SAN ANDRES TUXTLA	Playa Vicente	8h 23 min	6h 52 min	6h 12 min	4h 42 min	3h 52 min	4h 55 min	2h 53 min	2h 5 min	0	2h 29 min	8h 49 min	8h 49 min
JALTIPAN	Jesús Carranza	9h 9 min	7h 37 min	6h 58 min	5h 28 min	4h 38 min	5h 41 min	3h 39 min	3h 23 min	2h 29 min	0	1h 39 min	9h 38 min
CHOAPAS	Minatitlán	8h 38 min	7h 6 min	6h 27 min	4h 56 min	4h 6 min	5h 9 min	3h 7 min	2h 51 min	8h 49 min	1h 39 min	0	9h 5 min
PANUCO	Ozuluama de Mascareñas	2h 43 min	2h 4 min	3h 1 min	5h 32 min	6h 47 min	6h 22 min	6h 35 min	7h 16 min	8h 49 min	9h 38 min	9h 5 min	0

Tabla 2. Tiempos de traslado entre potenciales Centros de Acopio.

3. Resultados

Planteamiento del Caso de Estudio:

El presente caso de estudio atiende un problema de decisión de una industrializadora de leche localizada en la ciudad de Xalapa, Veracruz-México, con una capacidad de envasado de 40,000 a 50,000 L/diarios, la cual, debido a la expansión de su mercado, hoy en día se encuentra estudiando su actual red de proveeduría.

El objetivo de este estudio es decidir qué lugares pueden funcionar como proveedores de leche bronca, *de forma que se configure una red óptima* para tres centros de acopio, la cual considere su actual flota de transporte como medio de recolección de la leche; una con capacidad de 10,000 L (unidad “Tipo 1”), y otra de 20,000 L (unidad “Tipo 2”)

La administración de la empresa industrializadora requiere que en este estudio se evalúen los centros de acopio que hoy en día se encuentran cerrados, y que en el pasado fueron proveedores de dicho suministro, que, por situaciones de comunicación fueron cerrados. La actual red de acopio de leche bronca, y que ha dejado eventualmente en desabasto a la empresa, se compone de los centros de acopio ubicados en La Joya, Piedras Negras, y Palma Sola.

El decisor está consciente en asumir los costos implicados por Unidad de transporte cualquiera que sea el Tipo, toda vez que éste transporte cuando menos el 50% de su capacidad. La Tabla 1 concentra —de ser seleccionado— el costo por operar diario el centro de acopio; así como el costo de transporte para la Unidad Tipo 1 y Tipo 2, en función del precio de combustible (\$/L), el rendimiento por km recorrido de la unidad de transporte (L/km), y el costo por la distancia (km) de recorrido del Centro de Acopio seleccionado a la planta industrializadora.

Como parte del análisis de la información, la empresa industrializadora de leche requiere que el diseño óptimo de la red de acopio considere la información correspondiente a la tendencia histórica de siete años relacionada con la capacidad de proveeduría de los emplazamientos objeto de estudio. La mayor preocupación de la empresa industrializadora, es el que se seleccione un centro de acopio el cual su tendencia de producción de leche sea altamente variable o que ésta se encuentre a la baja, y se corra el riesgo de un desabasto de dicho recurso para la empresa.

Por lo anterior, el modelo de decisión que configura la Red de Acopio busca Minimizar los costos de transporte como una función de la distancia por recorrer, el modo de transporte, y los gastos de operación del centro de acopio, y Maximizar el abastecimiento de leche, en función de la tendencia de producción de leche de cada emplazamiento objeto de estudio.

Términos y Variables:

- C_{ij} , el costo por transportar del centro de acopio i a la industrializadora j , por tipo de transporte i .
- w_i , volumen de leche transportada por tipo de unidad de transporte i .
- f_i , costo fijo de operación del centro de acopio i .
- X_{ikj} , litros a transportar del centro de acopio i a la industrializadora j , por tipo de transporte k .
- O_i , la capacidad de acopio-incierta del centro de acopio i .
- d_j , litros de requerimiento de leche de la planta industrializadora j .
- p , denota el número de Centros de Acopio interesados en modelar.
- Y_i , es una variable binaria que {1, si se activa en Centro de Acopio i ; 0, en caso contrario }

Referencias de Modelos estructurales de localización de instalaciones relacionadas con el Caso de Estudio:

- Brimberg, J. y Juel, H. (1998). *A bicriteria model for locating a semi-desirable facility in the plane*, European Journal of Operational Research, 106, págs. 144-151.
- Carrizosa, E. y Plastria, F. (1999): *Location of semi-obnoxious facilities*, Studies in Locational Analysis, 12, págs. 1-27.
- Cooper, L. (1963). *Location-Allocation Problems*. Operations Research, 11, pp. 331-343.
- Daskin, M. (1995): *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*, New York, John Wiley and Sons.
- Drezner, Z. y Wesolowsky, G.O. (1983): *The Location of an Obnoxious Facility with Rectangular Distances*, Journal of Regional Science, Vol. 23, No. 2, pp. 241-232.
- Erkut, E., y Neuman, S. (1989): *Analytical models for locating undesirable facilities*, European Journal of Operational Research, vol. 40, pp. 275-291.
- Fernández, J., Fernández, B. y Pelegrín, B. (2000): *A continuous location model for siting a non-noxious undesirable facility within a geographical region*, European Journal of Operational Research, 121, págs. 259-274.
- Kuby, J. M. (1987): *Programming Models for Facility Dispersion: The p -Dispersion and Maximum Dispersion Problems*, Geographical Analysis, Vol. 19, No. 4, pp. 315-329.
- Mansfield, E. Y Wein, H.H. (1958). *A Model for the Location of a Railroad Classification Yard*. Management Science, 4, pp. 292-313.
- Melachrinoudis, E. y Xanthopoulos, Z. (2003). *Semi-obnoxious single facility location in Euclidean space*. Computers and Operations Research, 30 (14), págs. 2191-2209.

Melachrinoudis, E. (1999): *Bicriteria location of a semi-obnoxious facility*. Computers & Industrial Engineering, 37, págs. 581-593.

Moon, D. y Chaudhry, S. (1984): *An Analysis of Network location problems with distance constraints*, Management Science, vol. 30, n° 3, pp. 290-307.

Valinsky, D. (1955). *A Determination of the Optimum Location of Fire-Fighting Units in New York City*. Operations Research, 3, pp. 494-512.

Romero-Morales, D., Carrizosa, E. y Conde, E. (1997): *Semi-obnoxious location models: A global optimization approach*, European Journal of Operational Research, 102, págs. 295-301.

4. Conclusiones

Aun y cuando se aprecia una tendencia claramente definida en el nivel de proveeduría de leche por cada potencial Centro de Acopio, es importante evaluar la variación de producción de leche entre periodos de tiempo; por otra parte, si bien el decisor ha realizado una discriminación entre municipios productores de cada Cuenca Lechera, basado en el mayor productor, resulta conveniente evaluar el escenario que sume el volumen total de cada cuenca, de forma que, los municipios productores de baja escala, tenga la oportunidad de sumar su producción al del mayor productor.

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 al Ing Mario Pérez Acosta, Ing. Pamela Álvarez Villagómez, e Ing. Julio Edgar Peralta Rodríguez, autores de esta investigación.

5. Referencias

Chen, Z.-L., 2004. Integrated Production and Distribution Operations: Taxonomy, Models, and Review/Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business. Era. Ch. 17.

Romero Tagal E., Lorena Cruz Saldaña, Gregorio Fernández Lambert & Anel Durán Montoya. Modelo lineal que optimiza una red centros de acopio de proveeduría de leche bronca. Coloquio de Investigación Multidisciplinaria. Área Ingeniería Industrial. Memoria CIM 2014. 466-471. Octubre 23 y 24 de 2014. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Veracruz-México.

Vidal, C.J. & Goetschalckx, M., 1997. Strategic production-distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models. European Journal of Operational Research, 98, pp.1-18.

Z.-L. Chen, Integrated production and outbound distribution scheduling: Review and extensions. Operations Research, 58 (2010), 130 - 148.

6. Notas biográficas

El **Ing. Mario Pérez Acosta** es Ing. Mecánico Eléctrico por la Universidad Veracruzana, en Xalapa, Veracruz, México. Actualmente es alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **Ing. Karen Pamela Álvarez Villagómez** es Ing. En Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México. Actualmente es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MII. Eduardo Fernández Echeverría**, es Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, que actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo dentro del Programa de Ingeniería Industrial del ITS de Zacapoaxtla.

El **Ing. Rogelio Arroyo Cruz** es Ingeniero mecánico por el Instituto Tecnológico de Veracruz, que actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en el área de electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Ing. Julio Edgar Peralta Rodríguez** es Ing. Industrial con especialidad en Procesos Sustentables e Innovación por el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Tlalnepantla, Estado de México, México. Actualmente es alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Diagnóstico del transporte de carga terrestre propio y/o tercerizado. Caso de estudio: Exportadora de cítricos.

Rafael Cuellar Lázaro, Ing.¹, Dr. Gregorio Fernández Lambert², Ing. Isaías Julián Sarmiento³,
M. C. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Ramsés González Aguilar⁵.

¹ Rafael Cuellar Lázaro, Ingeniero Industrial, es Profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. E-Mail. rcuellar@tecmartinez.edu.mx

² El Doctor. Gregorio Fernández Lambert, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail. gfernandezl@itsm.edu.mx

³ El Ingeniero Industrial. Isaías Julián Sarmiento, es Profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. E-Mail ijulian@tecmartinez.edu.mx

⁴ El Maestro en Ciencias. Isidro Rodríguez Montoro, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail. irodriguez@itsm.edu.mx

⁵ El Residente. Ramsés González Aguilar, es Estudiante del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. E-Mail. ramses.gonzalezag@gmail.com

Resumen—Este trabajo muestra el análisis de un caso de estudio, específicamente para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la cantidad de embarques transportados con unidades motrices propio y/o subcontratado, utilizados en el proceso de distribución de mercancías. El estudio se desarrolla para una pyme mexicana dedicada a la exportación de cítricos que cuenta con una flota de tracto-camiones. El análisis realizado permitió diagnosticar la cantidad de uso de transporte y presentar las ventajas y desventajas de contar con el servicio de transporte propio en contraste con el transporte tercerizado. Esta investigación presenta una comparación de resultados que determina en qué porcentaje el factor de utilización de la tercerización del transporte es necesario para cumplir con las entregas en las cantidades demandadas durante los periodos pico para demostrar cual es el gasto de operación en la distribución y que porcentaje representa con respecto a los ingresos por la venta de las mercancías por unidad de medida que puede ser caja, tarima o embarque y así en estudios posteriores someter a un análisis económico la posibilidad de reemplazo y determinar el tamaño óptimo de flota de tracto camiones.

Palabra(s) clave— Transporte, tercerización, tamaño de flota, toma de decisiones, logística.

Abstract – This work shows a case study analysis specifically to help the decision-making related with the quantity of embarkment transported with both own and outsourced mobile units utilized in the process of distribution of merchandise. The study is developed for a Mexican SME dedicated to the citric exportation which counts with a fleet of trucks. The realized analysis allowed the diagnostic of the quantity of use of the transport and presented the advantages and disadvantages of counting with its own fleet in contrast of a third-party fleet. This investigation presents a comparison of results that determine and what percentage the factor of you really is a shin of a third-party transport is necessary to accomplish the delivery of the amount of demand during the Thai Seasons to demonstrate what the cost of operating in the distribution and what percentage it represents with respect of the income with the sales of merchandise by unit of measure which can be box pallet for shipment and in for their studies submit to an economic analysis the possibility of replacement and determine the optimum size of the truck fleet.

Key words – Transport, outsourcing, fleet size, decision making, logictics.

1. Introducción

Actualmente las pymes que realizan operaciones logísticas de transporte de mercancías han recurrido a la contratación de terceros para la transportación de sus materias primas y productos, y más recientemente para la prestación de dicho servicio. La subcontratación de servicios que se confieren a terceras partes se le denomina “tercerización” que es la práctica administrativa que en inglés se denomina “*Outsourcing*” y que ha crecido en las empresas a lo largo de los últimos años. La subcontratación es parte de la tendencia a utilizar la eficiencia que proviene de la especialización.

El proveedor que realiza el servicio subcontratado es experto en esa especialidad particular. Esto permite que la empresa que lo contrata pueda enfocarse en sus factores críticos de éxito, es decir, en sus competencias centrales que le generan una ventaja competitiva, (Heyzer, 2009).

En México la gestión y operación de las flotas de autotransporte terrestre, normalmente cuentan con una flota vehicular para atender clientes que exigen altos estándares de seguridad, que buscan mantener un alto nivel de servicio a través del número determinado de camiones disponibles (tamaños de la flota), bajo un programa adecuado de asignación de servicios (gestión) con una flota vehicular moderna en constante renovación (reemplazo).

A medida que el ambiente de negocios exige mayor competitividad de las empresas que cuentan con una flota de autotransporte para la distribución de sus productos y así poder competir financieramente, estas deberán desarrollar

modelos financieros que incorporen tecnologías operativas y administrativas que les permitan disminuir costos otorgando fortalecimiento de estas empresas. Ruiz (2012) menciona que un México próspero debe traducirse en un país productivo que genere mayores ingresos para la población y eleve su calidad de vida, al mejorar su movilidad con infraestructura y sistemas de transporte para pasajeros y carga modernos, eficientes, seguros y sustentables. El propósito de este artículo es apoyado de la Metodología Delphi, mostrar un enfoque para el diagnóstico mediante el análisis de los costos de transportación de una empresa exportadora de cítricos que cuenta con una flota de autotransporte propia vs transporte tercerizado.

En este documento se propone un análisis basado en la experiencia de los expertos, considerando criterios de decisión para la evaluación del transporte propio vs tercerizado, bajo las siguientes etapas: Etapa 1. Definir ¿cuáles son los principales problemas, causas o ventajas de contar con autotransporte propio o usar la tercerización? Etapa 2. Con las respuestas iniciales se elaboran los cuestionamientos, para que los expertos puedan valorarlos, jerarquizarlos o compararlos. Etapa 3. Las respuestas de los expertos recibidas individualmente deben ser integradas, ya sea para la realimentación o *feedback* de las fases intermedias o para la presentación de resultados finales. Etapa 4. Para finalizar el proceso, se deben realizar dos o tres rondas de envío y recepción de información como un recurso utilizado como variación de las respuestas individuales de los expertos, y por último, elaborar un informe de los resultados donde se incluya la descripción del estudio (objetivos, método, cuestionarios), la manera en que evolucionan las respuestas de los expertos en las distintas rondas. También se incluyen los análisis estadísticos y las conclusiones.

La empresa intenta conocer un comparativo de costos de transportación mediante un análisis detallado de costos directos en los que incurre por la transportación de carga con transporte propio y subcontratado, con el fin analizar cuestionamientos como por ejemplo: ¿El tamaño de flota es adecuado para cumplir con la demanda en periodos pico? ¿Es necesario continuar con la tercerización de transporte para abastecer la demanda de los clientes?

Se presentará un caso de estudio aplicado a la toma de decisiones, que sirva como soporte para determinar en qué porcentaje el factor de utilización de la tercerización del transporte es necesario para cumplir con las entregas en las cantidades demandadas durante los periodos pico, y someter a un análisis económico para demostrar cual es el gasto de operación en la distribución, y qué porcentaje representa con respecto a los ingresos por la venta de los productos, y en estudios posteriores, la posibilidad de determinar el tamaño óptimo de flota de tracto camiones.

2. Desarrollo

Método.

La Figura 1 describe el Enfoque metodológico para el proceso de análisis de costos apoyado de la metodología Delphi.

En las primeras etapas se realizó una investigación a cerca de la gestión de autotransporte en las empresas haciendo uso de uno de los métodos generales de prospectiva como lo es el método *Delphi* que busca acercarse al consenso de un grupo de expertos con base en el análisis y la reflexión de un problema definido.

Este Enfoque proporciona una manera simple de obtener un diagnóstico a partir de la información proporcionada de manera veraz, completa y oportuna. Permite conocer información importante para que posteriormente el decisor pueda tomar decisiones e implementar las acciones necesarias en las actividades logísticas relacionadas con la flota de autotransporte.

Al respecto, la literatura reporta la aplicación en diversos métodos que incluyen ambientes inciertos en situaciones de decisión relacionados con el autotransporte. Entre algunos trabajos significativos se encuentran los de Mirón (2015) quien mediante el conocimiento y aplicación de los conceptos de modelación matemática realiza un análisis para la determinación del tamaño de flota de transporte terrestre tratando de satisfacer una demanda de transporte con respecto a criterios definidos por expertos. De una forma simplificada y sin la necesidad operaciones complejas, el modelo responde a la variación en el comportamiento de la demanda histórica del servicio de transporte proporcionado por una empresa de transporte.

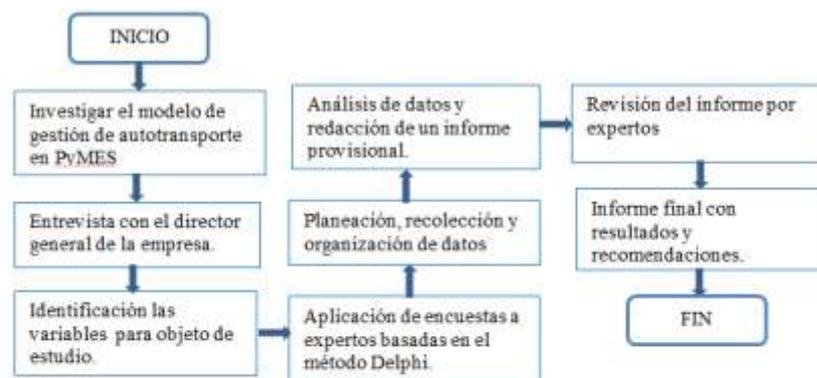


Figura 1. Metodología utilizada para el caso de estudio. Elaboración propia.

González (2011) plantea la posibilidad de reducir gastos por concepto de transportación si se planea la producción regional considerando calidad y variedad de duraznos que los consumidores regionales esperan. Para ello, se formuló un modelo lineal de distribución que incluye las variables económicas del mercado del durazno, el cual pretende minimizar los costos de transporte de las posibles rutas que se pueden activar cuando se ejecuta el modelo. Se manejan dos escenarios: uno para atender la demanda real proyectada, y el segundo con aumento de 20% en la producción.

Según la publicación técnica No. 278 del Instituto Mexicano del Transporte y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes es necesario realizar una revisión del concepto de integración logística, estrategia que se considera una herramienta fundamental para mejorar la calidad del servicio y disminuir los costos asociados a los desplazamientos de mercancías a través de la frontera norte de nuestro país. Este artículo reporta el diagnóstico de costos que se concluye relacionado con el problema particular de la empresa Veca Produce, la cual se enfrenta a situaciones de decisión relacionadas con, si el continuar operando con la flota de autotransporte y mantener soportado en un mantenimiento mecánico a su actual flota de transporte, gasto que al respecto llega a representar hasta el 3.4 % sobre ventas por embarque realizado, además que debido a los largos periodos de tiempo por servicio de mantenimiento y/o reparación, ocasiona que las unidades motrices disminuyan la productividad en número de viajes realizados como se muestra en la gráfica 1.



Gráfica 1: Participación por unidad de transporte propio. Elaboración propia

Caso de estudio.

Veca Produce, S.A. de C.V. es una pyme mexicana con giro agroindustrial y con varios años de operación en México, dedicada a la producción, empaque, comercialización, transportación y exportación de Lima Persa (*Citrus Latifolia*), de una amplia línea de marcas en 10 y 40 libras entre otras presentaciones. Esta empresa cuenta con una flota de autotransporte de carga heterogénea para cubrir la demanda de los clientes en el mercado nacional e internacional, transportando vía terrestre a la ciudad de México y McAllen en Estados Unidos de América (SALGADO, 2015).

Las decisiones relacionadas con la gestión del transporte, como lo comentan Bosch y Varas (2001), involucran aspectos estratégicos y tácticos que determinan los niveles de operación, las necesidades de manutención y en definitiva, la capacidad productiva.

Tal es el caso de esta empresa que cuenta con una flota de tracto-camiones para la distribución del producto, donde el 50% de las unidades, tienen diferentes años en servicio, dentro de las cuales, algunas superan los quince años, lo que impacta en un mayor número de problemas mecánicos que les impide cumplir en tiempo y forma, además de que otras variables como: costos de mantenimiento, costos de reparación, eficiencia en el rendimiento de combustible y productividad entre otros, generan gastos de operación que llegan a ser altamente significativos a la hora de realizar las mediciones de desempeño como por ejemplo; las mediciones financieras para establecer medidas de capacidad de la empresa para ganar dinero, entre las cuales se encuentran: las utilidades netas, el rendimiento sobre la inversión, la liquidez y las mediciones operativas como la producción e inventario, esto último con el fin de determinar la cantidad de dinero que el sistema invirtió en comprar, procesar o transportar lo que se pretende vender.

El problema de decisión que presenta esta empresa, está enfocado en la decisión de continuar operando con su flota propia de autotransporte terrestre o subcontratar el transporte mediante ciertos criterios como los costos, la capacidad y la seguridad entre otros, debido a que según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los vehículos utilizados para prestar el servicio de carga en México, presentan una antigüedad que alcanza los 17.5 años en promedio, mientras que la empresa Veca Produce S.A. de C. V, actualmente cuenta con una flota de autotransporte

de 8 unidades de carga, como se muestra en la Tabla 1 que define la edad de los activos con una antigüedad de 20.3 años en promedio, para la transportación del producto en el territorio nacional e internacional (OLIVA, 2015) realizando viajes redondos desde Martínez de la Torre a la ciudad de México D.F. (viajes cortos) y Martínez de la Torre-McAllen Texas (viajes largos).

Tracto- Camión	Modelo	Años de servicio	Requerimiento de Mantenimiento por fallas físico-mecánicas
VP-19	1978	37	Alto
VP-20	1987	28	Alto
VP-21	1992	23	Alto
VP-22	1992	23	Medio
VP-23	2000	15	Bajo
VP-28	2012	3	Mínimo
VP-29	1982	33	Alto
VP-36	2014	1	Bajo

Tabla 1: Flota de Tracto – Camiones: Edad del activo. Elaboración propia

Del total de las unidades de transporte con las que cuenta la empresa, tres tienen una antigüedad de al menos 30 años, tres más con antigüedad de entre 15 a 23 años y solo dos unidades seminuevas de las cuales una es modelo 2012 y la otra modelo 2014. Además las unidades más antiguas, presentan un mayor número de problemas al utilizarlas para recorridos largos, el estado físico-mecánico les impide hacer el recorrido al menor tiempo posible, atrasando envíos en espera y/o debiendo tercerizar el transporte. Los costos de mantenimiento, reparación y consumo de combustible son elevados en comparación con unidades de menor antigüedad como se muestra en la gráfica 2.

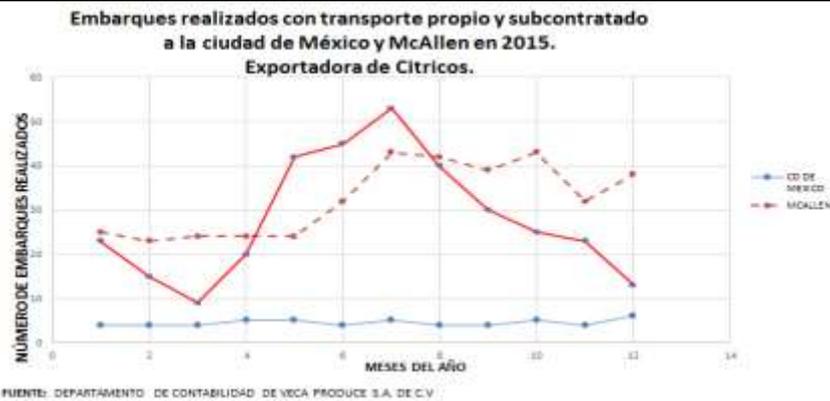
Por lo anterior, se entiende que, la problemática de las unidades de transporte, se encuentra generada en un mayor porcentaje por aquellas que ya son muy antiguas, ya que las consecuencias de su uso para viajes de larga distancia tienen un impacto económico negativo, además que al no disponer de unidades para embarque del producto, se ven en la necesidad de subcontratar el servicio de transportación hacia los diferentes destinos, mismos que generalmente son contratados durante la temporada alta que oscila entre los meses de Mayo a Noviembre de cada año como se muestra en la Gráfica 3 que indica el número de embarques realizados con transporte propio a la Ciudad de México y en las líneas continua y punteada en la parte superior, los embarques propio y subcontratado respectivamente a McAllen, en el país vecino de Estados Unidos de América. De acuerdo a Goulias (2003), el movimiento de mercancías, exige una planificación eficaz, que a su vez exige que los métodos y modelos para la predicción de las demandas de servicios de transporte de mercancías cambien con el tiempo.

Tal es el caso que se presenta en esta empresa, la cual tiene la necesidad de subcontratar transporte durante todo el año como se muestra en la gráfica 3 por diversos factores que intervienen, especialmente durante la temporada alta, esto conlleva a que los egresos por costos de operación en la distribución se incrementen de manera incierta, debido a que a pesar de que la empresa cuente con una flota de tracto camiones, esta no abastece para cubrir la demanda de los clientes.

Lo expuesto en el párrafo anterior ocasiona que la empresa este invirtiendo desde 12% hasta 36% por encima del costo de transportación propia por embarque realizado, lo que se deduce que a largo plazo, los costos de transportación subcontratada incrementarán los gastos de operación de manera significativa.



Gráfica 2: Costo de Mantenimiento de la flota. Elaboración propia



Gráfica 3: Embarques realizados con transporte propio y subcontratado. Elaboración propia



Figura 2. Diagrama de Ishikawa de causas del aumento de los costos de transporte. Elaboración propia.

Por otra parte, es necesario considerar la posibilidad de un futuro reemplazo vehicular derivado de la utilización, edad del equipo y calidad en el servicio que se desea proporcionar. En este sentido, algunas empresas cuentan con un sistema de reemplazo basado en ciclos de tiempo; es decir, renuevan el tracto-camión que tiene cierto número de años, independientemente de las condiciones en que éstos se encuentren. El único factor que se considera para el reemplazo es precisamente el año del activo, dejando de lado cualquier otra variable que pudiera tener algún impacto diferente en dicha decisión.

Concepto	Transporte Propio		Transporte Subcontratado Cd. McAllen	
	Cd. México	Cd. McAllen	Costo Mínimo	Costo Máximo
Peaje	\$577.00	\$932.00		
Combustible	\$4169.45	\$10,721.43		
Comisión y sueldo	\$1,060.00	\$2,060.00		
Seguro y Control Vehicular	\$422.00	\$422.00	\$17,920	\$24,640
Mantenimiento	\$1,441.59	\$1,441.59		
Otros gastos	\$200.00	\$200.00		
Total	\$7,870.04	\$15,777.02	Promedio: \$21,280.00	

Tabla 2: Costo por transporte propio y subcontratado, año 2015. Elaboración propia

Derivado de lo anterior, la gestión del autotransporte puede enfocarse a diferentes aspectos; sin embargo, se considera que la inversión en equipos es uno de los aspectos más relevantes, ya que por un lado, se requiere de un capital importante para desarrollar dichas inversiones y por otro, el tener equipo adicional representará un costo

operativo más alto que el que se debería tener, resultando dicha inversión contraproducente contra los objetivos deseados, pero de igual forma, si no se cuenta con las unidades suficientes, se verá afectado el servicio al cliente y por ende la imagen de la organización con posible repercusión en rescisiones de contrato o limitantes para poder conseguir nuevos clientes. Por otra parte, el mantener unidades más tiempo del que se debiera, puede provocar mayores costos de mantenimiento a futuro y de igual forma repercutir en el servicio al cliente ocasionando un aumento en los costos de transportación como se muestra en la figura 2.

3. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis económico realizado con la ayuda de Excel a cerca de los embarques realizados durante el año 2015 con transporte propio y subcontratado, utilizando variables definidas por los autores y aprobadas por los expertos que a continuación se mencionan: Número de embarques realizados (NE), costo por embarque propio (CEP), costo por embarque subcontratado (CES), ingreso por embarque propio (IEP), ingreso por embarque subcontratado (IES) número de cajas por embarque (NCE) y el precio de venta por caja (PVC). Este análisis económico se realizó en función del número de embarques con transporte propio con destino a la ciudad de México donde se determinó que el costo porcentual por envío representa el 3.2 % sobre ingreso por la venta del producto por embarque realizado. De la misma forma el análisis realizado a los embarques enviados con destino a McAllen en los Estados Unidos de Norte América durante el mismo año con transporte propio y subcontratado, se determinó que el costo porcentual es del 4.2% y 5.7% respectivamente; es decir, el costo de envío por caja, tarima o embarque representa un costo de 4.2 o 5.7 pesos por cada 100 pesos de ingreso por la venta de cada unidad de acuerdo al tipo de cambio publicado por el Banco de México en el Diario Oficial de la Federación, para solventar obligaciones denominadas en moneda extranjera pagaderas en la República Mexicana. Sin embargo, es necesario hacer notar que el número de embarques realizados con transporte propio es mayor en 13% con respecto a los embarques realizados con transporte subcontratado, lo que indica, que a pesar de que el tamaño de flota está limitado y además presenta ciertas situaciones que podrían estudiarse como un caso de estudio en futuras investigaciones, es importante continuar realizando análisis más detallados relacionados con el presente diagnóstico.

4. Conclusiones

La investigación permitió demostrar la situación actual de la operación logística desarrollada en la transportación de mercancías a los dos destinos como soporte para el proceso de toma de decisiones en la empresa.

Los resultados experimentales obtenidos, luego de aplicar la metodología, posibilitan arribar a las conclusiones siguientes: 1) La edad de los activos utilizados en la flota de autotransporte representa una área de oportunidad para que en próximas investigaciones se estudie la posibilidad de hacer un análisis de reemplazo debido a que la vida en años de servicio de cada una de las unidades, ha excedido en aproximadamente cuatro años con respecto a la media nacional que es de 17.5 años lo cual pone en desventaja a la empresa para poder continuar operando con esta flota de auto transporte en los próximos años, todo esto causa que los costos de transportación sean altos como se muestra en la Tabla 2, la cual indica que el costo promedio de subcontratar una unidad para el transporte hacia el destino McAllen es mayor en \$5,502.98 con respecto al transporte propio. De la misma forma, las medidas de desempeño se verán afectadas, cuando los costos por mantenimiento y reparación sean cada vez más representativos y la eficiencia en el rendimiento por consumo de combustible disminuya y la productividad en número de viajes realizados por cierto periodo de tiempo se vea cada vez más disminuida. 2) Durante el año en estudio, la oferta y demanda de limón persa presenta cierta variabilidad por varios factores controlables y no controlables para la empresa, se concluyó que la temporada más alta del periodo analizado se presenta durante los meses de Mayo a Noviembre, lo que ocasiona que en esta temporada se requieran más tracto camiones para transportar el producto hacia los clientes, pero debido al tamaño de flota, la empresa se ve en la necesidad de subcontratar el servicio para poder cumplir con la demanda. 3) La empresa objeto de estudio debe considerar el redimensionamiento de su flota de tracto camiones y la renovación oportuna, esta decisión puede reflejar un conjunto de beneficios significativos, ya que además del ahorro en el consumo de combustible, se tienen importantes ventajas tales como los ahorros en el mantenimiento en los primeros años de operación de la unidad y una mayor disponibilidad del vehículo al reducirse los tiempos de inmovilización en el taller. 4) La empresa contará con la información necesaria para llevar a cabo de forma objetiva y confiable un proceso de análisis de factibilidad económica.

Los autores desean agradecer el acceso a los datos e información de la exportadora de cítricos Veca Produce S.A. de C. V, de igual forma el apoyo brindado por la administración y colaboradores que apoyaron con entrevistas durante el desarrollo de la investigación.

5. Referencias

Rosaldo Miron, L.M., Ruvalcaba Sánchez, L., Fernández Lambert, G., Correa Medina, J.G., & Martínez Mendoza, E. (2015). Determinación del tamaño de flota para transporte terrestre por carretera con base a tiempos de traslado. *Revista Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*, Vol. 3 Núm. 1, 138-146.

Bosch M., y Varas S. (2001). Reemplazo de equipos en un sistema de producción complejo. *Revista Ingeniería de Sistemas. Volumen XV. Número 1*. Recuperado de http://www.dii.uchile.cl/~ris/articulos/art_reemplaz.pdf

Heyzer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.

Gonzalez, J.A., Garcia Salazar, J.A., Tovar, L.E., Matus gardea, J.A., & Cruz Galindo, Bartolomé. (2012). Modelo de equilibrio espacial para determinar costos de transporte en la distribución de durazno en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.4 1 de julio - 31 de agosto, 2012 p. 701-712*.

Vázquez, F. (2003) *Tercerización del transporte en el contexto de la cadena de suministro. Publicación técnica, Núm. 223, ISSN 0188-7297. IMT*.

Salgado. Nora, entrevistada por Rafael Cuellar Lázaro, Martínez de la Torre, Ver., 16 de Octubre de 2015.

Programa Sectorial de Comunicaciones y transportes. *Plan Nacional de desarrollo (2013-2018). Gobierno de la Republica*. Recuperado de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/banners/Programa_Sectorial_de_Comunicaciones_y_Transportes.pdf

6. Notas Biográficas

El Ing. **Rafael Cuellar Lázaro**. Este autor es profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Veracruz, México. Es egresado del Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla. México y actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Dr. **Gregorio Fernández Lambert** es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Ing. **Isaías Julián Sarmiento**. Este autor es profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Veracruz, México. Es egresado del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Puebla. México y actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El MC. **Isidro Rodríguez Montoro**. Este autor es Maestro en Ciencias con Especialidad en Administración de Negocios por el Instituto Politécnico Nacional y actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El C. **Ramsés González Aguilar**. Este autor es estudiante de la Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre y actualmente está realizando su residencia profesional en la empresa Veca Produce S.A de C.V. además de colaborar con recolección de información y datos para la realización de la tesis de maestría del autor¹ del presente artículo.

Enfoque de estudio territorial apoyado de Sistemas de Información Geográfica para definir territorios apícolas en Misantla, Veracruz-México.

Juan Gabriel Roque Peña, Ing¹, Ing. Giovanni Luna Chontal², Dr. Gregorio Fernández Lambert³, Isaf Tiburcio Álvarez⁴, Tito Armando Hernández y González⁵.

¹Juan Gabriel Roque Peña, Ing. es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jgroquep@itsm.edu.mx

²El Ing. Giovanni Luna Chontal, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. glunac@itsm.edu.mx

³El Dr. Gregorio Fernández Lambert, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx

⁴El Ing. Isaf Tiburcio Álvarez, es Estudiante de posgrado en la Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152T0727@itsm.edu.mx

⁵El MII. Tito Armando Hernández y González es jefe de carrera de la Licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. tahernandezyg@itsm.edu.mx

Resumen— Se propone el uso los Sistemas de Información Geográfica para identificar zonas aptas para la producción de miel de abeja (*Apis mellifera*), con el objetivo de apoyar la decisión relacionada con la correcta localización de zonas de flora apícola como un componente para mejorar el rendimiento de la producción de miel. Los resultados actuales demuestran la practicidad de los Sistemas de información Geográfica para la construcción de un mapa temático que permitirá a los apicultores tener una referencia visual de las zonas con mayor flora melífera y polinífera, así como para la ubicación actual de sus apiarios.

Palabra(s) clave—Agricultura de precisión, Sistemas de Información Geográfica, Percepción remota, Región apícola.
Abstract – It is proposed the use of Geographic Information Systems to identify areas suitable for the honey bee production (*Apis mellifera*), with the objective of supporting the decision related to the correct location of areas of bee flora as a component to improve the honey production performance. The current results demonstrate the practicality of Geographic Information Systems for the construction of a thematic map that will allow beekeepers to have a visual reference of the areas with most melliferous and polleniferous flora, as well as the current location of their apiaries.

Keywords – Precision agriculture, Geographic Information System, Remote sensing, Beekeeping region.

1. Introducción

La historia humana revela una trayectoria ascendente de alteración y transformaciones de la tierra, que en los últimos siglos ha aumentado la superficie de tierras agrícolas y disminuido la superficie de los bosques (Houghton, 2002). Los principales factores de estos cambios incluyen el crecimiento de la población; el consumo de los recursos naturales; la falta de valoración de los servicios ecológicos; la pobreza; la ignorancia de las limitaciones biofísicas; y el uso de tecnologías incompatibles. El último siglo y comienzo del presente, la humanidad ha experimentado diversos problemas ambientales que incluyen: la erosión del suelo, la deforestación, las inundaciones, la contaminación del aire y la pérdida de la biodiversidad (Musa & Adebayo, 2004). Debido al hecho de que la cubierta vegetal está experimentando un cambio dramático en varias escalas; las causas del cambio de la vegetación en los últimos años son atribuidas por muchos como resultado de actividades antropogénicas y los fenómenos naturales (Gadiga, 2015), en donde el clima y el uso de la tierra han sido vistos como los principales agentes de cambio en la vegetación. Estudios recientes reportan que el cambio climático tendrá cada vez mayor impacto sobre los ecosistemas naturales y socioeconómicos (Fernández, 2011), así como en los sistemas agrícolas, los cuales dependen de las condiciones ambientales y disponibilidad de recursos naturales, sistema en el que, por ende, la apicultura queda sujeta a la cantidad de polen y néctar de las floras.

Dado lo anterior, el objeto de estudio de la investigación está enfocado en la aplicación de los sistemas de información geográfica (GIS) dentro del sector productivo de las actividades apícolas, para diseñar un mapa de flora apícola del municipio de Misantla, Veracruz, aprovechando los cultivos propios de la región de estudio, como lo son: limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka), mandarina (*Citrus Reticulata*), toronja (*Citrus Máxima*), café (*Coffea Arabica*), y chalahuite (Inga Vera), buscando que la investigación tenga como producto una herramienta de apoyo para los apicultores en la toma de decisiones respecto a la ubicación de los apiarios en base a la localización de zonas de flora melífera y polinífera.

2. Desarrollo

Método

El uso de los GIS se ha convertido en una herramienta poderosa en ausencia de información, o bien para reconocer lugares geográficos de difícil acceso. En problemas de geolocalización, los GIS han sido ampliamente aplicados para identificar zonas de riesgo, o bien para definir mapas temáticos de vulnerabilidad territorial y/o acuífera. En el presente estudio se ha propuesto emplear los GIS para identificar zonas con aptitud de flora melífera y polinífera, con el objetivo de construir un mapa temático apícola, apoyado con GPS, y software QGIS.

Los parámetros considerados en este estudio están relacionados con factores topográficos, temperatura ambiental, densidad de floración, entre otros propios para la explotación apícola, mientras que el método de interpolación, se prevé pueda ser INTERPOL, TIN, KRIGING y TREND, utilizando métodos de ajuste esféricos o gaussianos.

El estudio se limita al municipio de Misantla, Veracruz-México, e inicia su estudio con el posicionamiento geográfico, y recolección de datos en fuentes primarias productoras de miel de la abeja (*Apis mellifera*), apoyado del método de bola de nieve.

Contexto regional y apícola.

A partir de la década de los cincuenta del siglo XX, la apicultura en México empezó a dar signos de su próspero futuro por la comercialización de sus productos como son: miel, polen, cera, jalea real, propóleos, el veneno de abejas, las crías, reinas y las abejas mismas (Trujillo Narcia & Silva Contreras, 2015). Hoy en día, la calidad de la miel que se cosecha en las distintas regiones apícolas en la República Mexicana ha permitido que la apicultura sea complemento importante de la producción agrícola.

La vegetación y clima que se posee en el territorio nacional ha sido favorable para la explotación de la apicultura; en los últimos quince años ha surgido una preocupación por parte de los apicultores, la cual es el incremento de la deforestación, debido a que tiene efectos negativos en las actividades de las abejas (Yussuf, 2016; Brown & Albrecht, 2001; Allen-Wardell, y otros, 1998; Landero Castro, 2015; Castillo Hernández, 2016). México está posicionado en los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo (Céspedes-Fores & Moreno-Sánchez, 2010); el estado de Veracruz, en las últimas cinco décadas, ha perdido la mayor parte de sus bosques, selvas y vegetación de zonas inundables y, por tanto, de su diversidad biológica (Plan Sectorial Forestal Estatal, 2006-2028; Hernández Gómez, Ellis Edwards, & Gallo Gómez, 2011). A pesar de esto las condiciones naturales que envuelven al estado de Veracruz, hace que la apicultura sea una actividad rentable que genere beneficios para el productor de miel, y para el campo dada la diversidad de floración melífera y polinífera que prevalece en la región de Misantla.

El municipio de Misantla, cuenta con una superficie de 537.94 Km², ubicándose en la región conocida como Totonacapan en la zona centro-norte del estado de Veracruz, se encuentra en la vertiente norte de la Sierra Madre Oriental, la Sierra de Chiconquiaco y al este del Macizo de Teziutlán, se encuentra limitado con los siguientes municipios: al norte con Nautla, al oeste con Yecuatla y Colipa, al sur con Chiconquiato y Landero Coss, al suroeste con Tenochtitlán, al oeste con Altotonga y Atzalán, y al noroeste con Martínez de la Torre.

A consecuencia de lo anterior, la superficie terrestre del municipio no es una capa homogénea, sino que presenta un paisaje desigual, heterogéneo, como se puede ver en la Figura 1, localizándose tres zonas: alta (en color anaranjado y rojo), media (color grisáceo y amarillo) y baja (color verde); teniendo pendientes desde los cero grados hasta mayores cuarenta y cinco grados.

Debido a esto, Misantla presenta una variedad de climas como lo son: clima fresco, templado húmedos, y cálido; en donde los meses de mayo y junio se alcanzan temperaturas por arriba de los 30°C y llegando a temperaturas alrededor de 0°C en los meses de diciembre, enero y febrero. Además, en los meses de septiembre y octubre se cuentan con fuertes lluvias (INEGI, 2016).

La singular diversidad geográfica que posee Misantla, aunada a la fertilidad de sus suelos, hacen al sector agropecuario sustento de la economía de Misantla (Plan Municipal de Desarrollo Misantla, 2014), presentando la oportunidad para establecer variedades de cultivos que ofrecen grandes posibilidades de actividades agrícolas en la región; dentro de las que sobresalen las actividades económicas del café, forrajes, cítricos, y otros cultivos del trópico húmedo, así como la ganadería con la cría vacuna, ovina, porcina, aves, y la actividad apícola. En esta última actividad económica, la intensidad agrícola ha posicionado a México en ocupar los primeros lugares como productor de miel, y a Veracruz en mantenerse entre la cuarta o quinta mejor entidad federativa como productora de miel a nivel nacional, dentro del cual, el municipio de Misantla se encuentra posicionado como el quinto lugar en la producción de miel en el distrito de Martínez de la Torre.

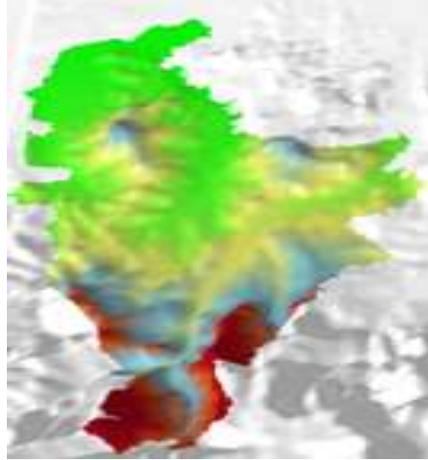


Figura 1. Las tres zonas del municipio de Misantla, elaboración propia a partir de imágenes satelitales del LANDSAT 7

En todos los casos, la dinámica de cambio de uso de suelo, en un periodo de once años, si bien ha presentado un patrón que favorece el crecimiento de áreas de cultivo relacionado con cítricos, en otro de los casos, también se encuentra que en Veracruz se han utilizado áreas naturalmente forestales para ser convertidas a tierras de cultivo y/o el volteo de tierras para el pastoreo. Este fenómeno de conversión de tierras ha ocasionado que las zonas naturales de alimento de las abejas se reduzcan y sea más difícil para el apicultor encontrar lugar para colocar sus apiarios (Kowal, 2015; Landero Castro, 2015; Castillo Hernández, 2016); lo que minimiza los rendimientos de producción en esta actividad económica. No obstante, los apicultores de la región de estudio tratan de seguir la fenología de las plantas que se cultivan en la región, entre ellas los cítricos, los cuales abarcan limón persa, mandarina, naranja y toronja, de los que se sabe tienen una floración en los meses de febrero y marzo, la cual puede ser de brote vegetativo, brote en la que tiene muchas hojas y una sola flor terminal, pura flor, muchas hojas y flores, y la de poca hojas y flores (Díaz Zorrilla, 2016).

La disminución de las zonas naturales de pecoreo de las abejas y la falta de identificación de zonas de cultivo con flora melífera y polinífera ha propiciado un bajo rendimiento en la producción de productos de la colmena; se menciona que el promedio de litros por colmena es de 25 a 30 por temporada. No obstante, apicultores han reportado que en ciertos años no se ha logrado cosechar dicho promedio, debido a diversos factores de la región como lo puede ser la selección del lugar del nectario, el transporte de las colmena al lugar de trabajo de las abejas, el cuidado en el transporte de los enjambres, la recolección de la miel a través de los cuadros del colmenar, y la selección de zonas de la flora (Landero Castro, 2015; Castillo Hernández, 2016), aunado a los factores no controlables como la temperatura, humedad, tipo de suelo, viento, luz solar, entre otros. A estos factores, se suma la preferencia de la abeja a ciertas especies florales, debido a la cantidad del néctar producido y a la accesibilidad a la fuente de alimento composición del polen (Irureta, 2005).

Para este propósito, las nuevas tecnologías de la información han demostrado ser una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en diversos trabajos del campo de la agricultura. En este sentido, la agricultura de precisión pone de relieve el aumento de la eficiencia que se puede realizar mediante la comprensión y la relación con la variabilidad natural que se encuentra dentro de un campo (Banu, 2015), lo que permite hacer una estrategia de manejo de apiario basado en el seguimiento de las colonias de abejas individuales para reducir al mínimo el consumo de recursos y maximizar la productividad de las abejas (Kviesis, Zacepins, & Stalidzans, 2015).

La aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (GIS) y la percepción remota son una poderosa herramienta que permite — con base en imágenes aéreas— elaborar y actualizar la cartografía, ubicar las diferentes áreas de flora, marcar territorios aptos para la apicultura, generar modelos del método de manejo forestal y/o cultivos practicados, así como predecir las tendencias o los escenarios futuros (Rosete & Bocco, 2003).

El campo de aplicación de los GIS es amplio, como lo es la construcción de mapas de la contaminación causada por el ruido (Wawa & Mulaku, 2015), identificar las causas inmediatas e indirectas de las inundaciones y que partes de la ciudad son más susceptibles a las inundaciones (Okoye & Ojeh, 2015), identificar las zonas con mayor índice de crímenes (Balogun, Okeke, & Chukwukere, 2014), localización de regiones aptas para la apicultura en verano debido al cambio climático con las condiciones extremas de calor y sequías (Abou-Shaara, Al-Ghamd, & Mohamed, 2013), (Noor Maris, Mansor, & M. Shafri, 2008), entre otros.

Las plantas melíferas y poliníferas, como son las plantas de estudio (Villegas Durán, et al., 2003), producen polen y néctar, alimento indispensable para la vida de las abejas; el polen es utilizado por las abejas para alimentar

larvas y abejas jóvenes, mientras que el néctar es usado como alimento para las abejas adultas (Palacio, 2009). La floración de estos cultivos son cortas y explosivas (FAPAS, 2008), es decir, que su periodo es de unas cuantas semanas, por lo que llevar a cabo la identificación de las regiones de flora melífera y polinífera, proporcionara información valiosa al apicultor de los lugares más aptos para el pecoreo, el cual en base a las fechas fenológicas de las plantas de estudio, puede planearse la trashumancia de las colmenas para mejorar el rendimiento de los productos de la colmena (Taheri & Shadkani-Till, 2012), y de esta forma poder sustentar el modelo económico de la apicultura, el cual produce y brinda un beneficio importante para la conservación, protección y mejoramiento de la producción agrícola.

La apicultura, como un modelo de negocios (Alfaro Bates et al., 2011) dentro del sector ganadero, es la que genera más divisas (SAGARPA, 2015-1); la cual sólo requiere del conocimiento de la vegetación que produzca flora apícola; motivo que inspira esta investigación, para que apoyado con GIS, se definan zonas con aptitud de flora melífera y polinífera con el objetivo de diseñar un mapa temático apícola para la región de estudio.

3. Resultados

Dentro de la región de estudio existen variables topográficas como lo son las pendientes, tipo de suelos, fuentes hídricas, entre otras, y eventos climatológicos como humedad relativa, temperatura, vientos, lluvia, luz solar, etcétera, que afectan directamente en los rendimientos de producción de miel en la colmena, además de impactar directamente en la salud y productividad de las abejas.

Los mapas de la región de Misantla expuestos dentro de la investigación, puede ser construidos en capas para plasmar las zonas aptas apícolas para la instalación de apiarios; identificación de carreteras, entre más información que oriente la potencialidad de proveeduría de flora melífera y polinífera. Esto ilustra cómo se obtiene y se procesa la información para ser presentada para el análisis de trashumancia. Se prevé un beneficio a partir del diseño del mapa apícola y la localización de zonas óptimas para la ubicación de apiarios con el propósito de mejorar los resultados del rendimiento en la producción de miel de la abeja (*Apis mellífera*). El beneficio económico se prevé sea variable en función de las práctica apícolas desarrolladas por el apicultor.

Los GIS permiten integrar diferentes capas de información, como se muestra en la Figura 2, en donde se han unido la capa de carreteras, líneas en color gris; localización de apiarios, puntos en color negro, los cuales fueron geoposicionados; así como un modelo 3D del municipio de estudio.

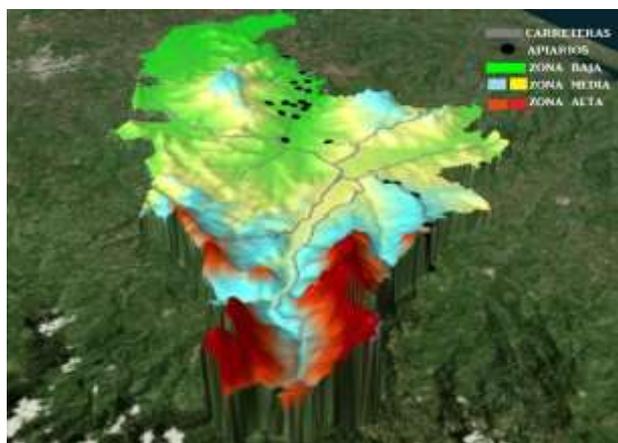


Figura 2. Integración de las capas sobre una imagen satelital

Dentro del marco apícola de la región y del estado de Veracruz, es necesario tecnificar e instrumentar sus procesos para optimizar e incrementar la producción. Para lograr esto, se requiere de un sistema que sea capaz de almacenar y presentar zonas que tienen floración melífera y polinífera de las plantas mencionadas con el objetivo de que el apicultor cuente con una herramienta tecnológica alterna para la ubicación de apiarios.

4. Conclusiones

El resultado de esta investigación se integra al desarrollo de una alternativa de decisión de las rutas de trashumancia para la colocación óptima de apiarios en la Región Sierra Centro-Norte del Estado de Veracruz, comprendidas por los municipios de Misantla, Juchique de Ferrer, Colipa, Yecuatla y Tenochtitlan; la cual presume de disponer un alto nivel de proveeduría de flora melífera y polinífera para la producción de miel.

La construcción de un mapa temático de floración con aptitud apícola para el asentamiento de las colmenas, debería traducirse en mejorar el rendimiento de producción de miel por colmena, al codificarse información de la naturaleza apio-biótica para facilitar la decisión de ubicación de apiarios de los productores de miel de la región de estudio.

La utilización de los sistemas de información para la localización de territorios de floración melífera y polinífera, armonizada con la optimización de las rutas de trashumancia; proporcionan una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para el apicultor de la región y seleccionar los territorios acorde a la temporada de floración, permitiendo hacer uso de estas tecnologías para explotar dichas zonas de una forma más eficiente al proveer a las abejas de los recursos naturales necesarios para mejorar el rendimiento de los productos de la colmena.

Los sistemas productivos para las actividades apícolas, bajo plataformas tecnológicas disponibles en nuestro país, harán que estas prácticas sean más eficientes, al hacer uso de la percepción remota y de los sistemas de información geográfica para la localización de zonas de floraciones melíferas y poliníferas enfocadas en la optimización de los asentamientos de los apiarios.

Los autores agradecen a la Asociación de Apicultores de Misantla, en particular al señor Pablo Landero Castro y Celestino Castillo Hernández, y especialmente 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 Juan Gabriel Roque Peña, Giovanni Luna Chontal e Isai Tiburcio Álvarez.

5. Referencias

- Abou-Shaara, H. F., Al-Ghamd, A. A., & Mohamed, A. A. (2013). A Suitability Map for Keeping Honey Bees Under Harsh Environmental Conditions Using Geographical Information System. *World Applied Sciences Journal*, 1099-1105.
- Alfaro Bates, R. G., Burgos Pérez, A. I., Moguel Ordóñez, Y. B., Godínez García, L. M., Villanueva Gutiérrez, R., Romero Rojas, O., Velázquez Rentería, C. A. (2011). *Denominación de origen de mieles de la Península de Yucatán*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de http://www.biodiversidad.gob.mx/usuarios/mieles/pdf/PlanRector_DenominacionOrigenMielesPeninsulaYucatan.pdf
- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., . . . Pavlik, B. (Febrero de 1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Journal Conservation Biology*, 12(1), 8-17.
- Balogun, T. F., Okeke, H., & Chukwukere, c. I. (2014). Crime Mapping in Nigeria Using GIS. *Geographic Information Sytem*, 453-466.
- Banu, S. (2015). Precision Agriculture: Tomorrow's Technology for Today's Farmer. *Food Processing & TEchnology*, 1-6.
- Brown, J. C., & Albrecht, C. (May de 2001). The effect of tropical deforestation on stingless bees of the genus *Melipona* (Insecta: Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in central Rondonia, Brazil. *Journal of Biogeography*, 28(5), 623-634.
- Castillo Hernández, C. (19 de Junio de 2016). (J. G. Roque Peña, Entrevistador) Santa Julia, Yecuatla, Veracruz, México.
- Céspedes-Fores, S. E., & Moreno-Sánchez, E. (28 de Julio de 2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. Texcoco, México, México. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/641/estimacion.pdf>
- Díaz Zorrilla, E. (16 de Abril de 2016). (J. G. Roque Peña, & G. Chontal Luna, Entrevistadores) Veracruz, México.
- Echazarreta-González, C. M., Arellano-Rodríguez, J. a., & Pech-Moo, C. (2002). *Apicultura en Mesoamérica*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.
- FAPAS. (29 de Enero de 2008). Recuperado el 30 de Junio de 2016, de http://www.fapas.es/proyectos/apis/instalacion_colmenar.htm
- Fernández, C. G. (2011). EL CAMBIO CLIMÁTICO: LOS ASPECTOS CIENTÍFICOS Y ECONÓMICOS MÁS RELEVANTES. *Revista Nomads*.
- Gadiga, B. L. (2015). Monitoring the Spatio-Temporal Dynamics of Vegetation Cover in Mubi Region, Adamawa State, Nigeria. *Journal of Geographic Information System*, 7, 598-606.
- González Acereto, J. A. (Enero-Junio de 2012). La importancia de la meliponicultura en México, con énfasis en la Península de Yucatán. *Bioagrociencias*, 5(1), 34-41. Obtenido de <http://www.ccba.uady.mx/revistas/bioagro/V5N1/Articulo7.pdf>
- Hernández Gómez, I. U., Ellis Edwards, A., & Gallo Gómez, C. A. (2011). Deforestación y deterioro de las selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf_Ibero/doc/ET6_54_HERN%C3%81NDEZ.pdf
- Houghton, R. A. (2002). Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus B*, 55, 378-390.
- INEGI. (2016). Recursos Naturales. Recuperado el 5 de octubre de 2016, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/>

- Irureta, M. (2005). Estudio polínico y de compuestos fenólicos en mieles Argentinas. *15° CONGRESO INTERNACIONAL DE ACTUALIZACIÓN APÍCOLA*. Tuxtla Gutierrez. Obtenido de <http://www.anmvea.com/imagenes/congresos/MemoriasCongresos/MCIAA15.pdf>
- Kowal, V. G. (6 de Febrero de 2015). Recuperado el 02 de Junio de 2016, de elmostrador: <http://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/2015/02/06/la-apicultura-una-oportunidad-para-la-paz-mundial/>
- Kviesis, A., Zacepins, A., & Stalidzans, E. (2015). FUTURE DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF THE PRECISION APICULTURE (PRECISION BEEKEEPING). *Biosystems Engineering*, 60-71.
- Landero Castro, P. (21 de Octubre de 2015). (J. G. Roque Peña, Entrevistador) Santa Cruz Hidalgo, Misantla, Veracruz, México.
- Manual de buenas prácticas de producción de miel, 1. (27 de Agosto de 2014). *Manuales Apícolas*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2015, de <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/manualesapicolas.aspx>
- Musa, A., & Adebayo, A. (2004). Environmental Degradation. *A Geo-graphical Synthesis, Paraclete Publishers, Yola*, 17-119.
- Noor Maris, N. M., Mansor, S., & M. Shafri, H. Z. (2008). Apicultural Site Zonation Using GIS and Multi-Criteria Decision Analysis. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.*, 147-162.
- Okoye, C. B., & Ojeh, V. N. (2015). Mapping of Flood Prone Areas in Surulere, Lagos, Nigeria: A GIS Approach. *Geographic Information System*, 158-176.
- Organización Nacional de Apicultores. (03 de Diciembre de 2005). *Plan Rector Apícola Nacional*. Obtenido de http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Sistemas%20Productos%20Pecuarios/Attachments/24/plan_final.pdf
- Palacio, M. A. (2009). *Curso de actualización en sanidad apícola*. Recuperado el 4 de Julio de 2016, de <https://viejaweb.senasa.gov.ar/Archivos/File/File3076-File2960-mat-act-san-apicola.pdf>
- Plan Municipal de Desarrollo Misantla. (2014). Obtenido de <http://www.hmisantla.gob.mx/transparencia/assets/pmd-misantla-2014-2017.pdf>
- Plan Sectorial Forestal Estatal, A. (2006-2028). (P. C. SEMARNAT, Ed.) 1-28. Recuperado el 8 de Febrero de 2016, de <http://www.era-mx.org/documentosinteres/manejosostenible/plansec2006-2028.pdf>
- Rosete, F., & Bocco, G. (2003). Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los palnes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta Ecológica*(68), 43-54. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28253789_Los_sistemas_de_informacion_geografica_y_la_percepcion_remota_Herramientas_integradas_para_los_planes_de_manejo_en_comunidades_forestales
- Sagarpa. (enero-febrero de 2015-1). Programa nacional para el control de la abeja africana. *Notiabeja*.
- Taheri, E., & Shadkami-Till, H. (2 de Febrero de 2012). Phenology of Veronica beccabungal flowering in NW Iran. *Journal of Forest, Soil and Erosion*, 74-77.
- Trujillo Narcia, O., & Silva Contreras, A. (2015). La abeja y su importancia en la vida moderna. *Agroentono*, 8-10.
- Villegas Durán, G., Bolaños Medina, A., Miranda Sánchez, J. A., Sandoval Hernández, R., & Lizama Manrique, J. M. (2003). *Flora nectarífera y polinífera en el Estado de Veracruz*. México: SAGARPA.
- Villela, L. (28 de Julio de 2015). Recuperado el 08 de Enero de 2016, de Portal Apícola: <http://api-cultura.com/crece-la-demanda-de-miel/>
- Wawa, E. A., & Mulaku, G. C. (2015). Noise Pollution Mapping Using GIS in Nairobi, Kenya. *Geographic Information System*, 486-493.
- Yussuf, I. (20 de Enero de 2016). Recuperado el 1 de Julio1 de 2016, de <http://www.dailynews.co.tz/index.php/features/46190-how-deforestation-impacts-on-beekeeping>

6. Notas Biográficas

El **Ing. Juan Gabriel Roque Peña**, es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México.

El **Ing. Giovanni Luna Chontal** es Estudiante de posgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial, actualmente se desempeña como profesor parcial en la Licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México.

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert** es Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, México. Actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Ing. Isaí Tiburcio Álvarez**, es Estudiante de posgrado en la Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

El **MIL. Tito Armando Hernández y González** es jefe de carrera de la Licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Tiene estudios de Maestría en Ingeniería Industrial por la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México.

Enriquecimiento proteico de residuos orgánicos vegetales mediante fermentaciones en estado sólido (FES) con *Penicillium digitatum*

Esmeralda Abigail García Suárez¹, Mayra Durán Córdova², Dr. Gustavo Martínez Castellanos³,
Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, M.C. Oswaldo Castor Ortiz Zamora⁵

¹ Esmeralda Abigail García Suárez, es estudiante de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 132t0141@itsm.edu.mx.

² Mayra Durán Córdova, es estudiante de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 132t0138@itsm.edu.mx.

³ El Dr. Gustavo Martínez Castellanos es profesor investigador del Departamento de Ingeniería Bioquímica y de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gmartinezc@itsm.edu.mx.

⁴ El Dr. Gregorio Fernández Lambert es profesor investigador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx.

⁵ El M.C. Oswaldo Castor Ortiz Zamora, es profesor del Departamento de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ocortizz@itsm.edu.mx.

Resumen — En este trabajo se diseñaron y construyeron fermentadores FES (fermentación en estado sólido) con la finalidad de promover condiciones controlables y uniformes para el enriquecimiento proteico de tres sustratos vegetales (Bagazo de naranja, Rastrojo de maíz y *Elodea canadensis*) mediante el crecimiento de *Penicillium digitatum*. Los resultados mostraron que cada uno de los sustratos aumentaron su contenido proteico entre 3.3, 2.2 y 7.4 % respectivamente. Así mismo, los fermentados mostraron cambios de pH final de 5.6 a 6.7, 6.6 a 7.4 y de 6.8 a 8.88 respectivamente que demostraron un cambio de actividad metabólica característica de la fermentación por hongos miceliales. La evaluación como pienso alimenticio para la ganancia de peso con respecto a un alimento comercial, mostró en el caso de *Elodea canadensis* un aumento lento, pero constante por los animales en experimentación (*Gallus domesticus*), que pasó de 57 a 309 g, lo que hizo una ganancia neta de 252 g en 22 días. Por lo que, *Elodea canadensis* permitió alcanzar al menos el 59 % del peso obtenido por los animales sustentados con alimento comercial y que por tanto podría sustituir en parte a los alimentos comerciales.

Palabra(s) clave— Fermentación en estado sólido, *Penicillium digitatum*, *Elodea canadensis*.

Abstract

In this work they were designed and builded fermentors SSF (solid state fermentation) in order to promote controllable and uniform conditions for protein enrichment of three plant substrates (orange bagasse, corn stover and *Elodea canadensis*) by *Penicillium digitatum*. The results showed that substrates were able to increase their protein content between 3.3, 2.2 and 7.4% respectively. Likewise, the fermented showed changes final pH of 5.6 to 6.7, 6.6 to 7.4 and 6.8 to 8.88 respectively, which showed a change in metabolic activity characteristic of mycelial fungi fermentation. The assessment as feed for weight gain with respect to a commercial feed, showed in the case of *Elodea canadensis* a slow but steady increase, for animals in experimentation (*Gallus domesticus*), which went from 57 to 309 g, reaching a net profit of 252 g in 22 days. Thus *Elodea canadensis* allowed to reach at least 59% weight gain obtained by sustained commercial feeds and therefore could partially replace 8its.

Key words – Solid State fermentation, *Penicillium digitatum*, *Elodea canadensis*

1. Introducción

En Veracruz se estima que la producción total de naranja es de 2,336,426.80 ton y la de maíz es de 1,212,089.33 ton (SIAP 2015) de los cuales se pueden producir millones de toneladas de residuos ligno-celulósicos después de su procesamiento. Las actividades agropecuarias generan una gran cantidad de subproductos y desechos, de los cuales solamente algunos tienen un uso definido. Dentro de los estados que mayor cantidad de residuos agropecuarios por su el sector agroindustrial predominante es el estado de Veracruz. El rastrojo de maíz es el alimento más abundante para los rumiantes durante gran parte del año en muchas regiones de México, sin embargo este subproducto no aporta el consumo de nutrientes suficiente para mantener a los animales en buenas condiciones, por lo que muchas veces debe de ser enriquecido con otros nutrientes como la urea (Sánchez-Acosta et al., 2012). Se considera que posee un alto valor energético como alimento para rumiantes, debido a su contenido de nutrientes digeribles totales, su costo es bajo, pero su contenido proteico es limitado siendo necesario aportar nitrógeno a partir de otra fuente cuando se pretende formular dietas para la alimentación de animales (Sánchez-Acosta et al., 2012). En este mismo sentido, el bagazo de naranja puede ser aprovechado en la alimentación de rumiantes, ya que puede ofrecerse como base de una ración alimenticia para animales, por lo que su utilización aumenta cuando existe escasez de alimentos temporales, forrajes voluminosos de calidad y estacionales, siendo un sustituto muy valioso de los silajes de planta entera de maíz o de sorgo (González-Reyna et al., 2013).

Elodea canadensis, es una planta acuática nativa y común de Wisconsin, posee un porte herbáceo y hábitat natural en medios de agua dulce. También se encuentra ampliamente distribuida por Latinoamérica debido a su facilidad de propagarse a alta velocidad, sus pocas exigencias nutrimentales, por lo que también es catalogada como especie invasora. Esta planta puede ser utilizada como fuente de proteína para uso alimenticio ya que cuenta con un 2.1 % de proteína en peso húmedo y se ha utilizado como alimento para especies acuáticas (Mcdowell *et al.*, 1990). En un estudio de 21 días para evaluar el valor alimenticio de elodea (*Elodea canadensis* Michx.) e hidrilla (*Hydrilla verticillata* Rich.) se alimentaron 192 pollos de engorda con 2 días de edad los cuales fueron alimentados con una dieta basada en maíz amarillo molido y harina de soja con 5 y 10 % elodea y 5 % hidrilla. Elodea e hidrilla presentaron mayores concentraciones de calcio, magnesio, sodio y oligoelementos, especialmente hierro y manganeso, que el maíz y la soja y se pudo observar que los animales con una dieta de 5 o 10 % de elodea presentaron un consumo, ganancia de peso corporal y conversión de alimento similar con los controles (Lizama *et al.*, 1988). En otro estudio con una planta similar en estructura y características (*Egeria densa*) para evaluar su uso en la alimentación animal de pollitas de estirpes con aves de catorce días de nacidas, durante ocho semanas se sustituyeron porciones de 20 %, 30 % y 40 % y se observó una ganancia positiva pero decreciente con respecto al aumento de la concentración de elodea (Molina y González, 2012).

Actualmente existe gran interés por parte del sector pecuario en incorporar desechos y/o residuos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. Su utilización se ha visto estimulada en los últimos años, debido al elevado costo alcanzado por los insumos tradicionalmente empleados, como también por la modernización de los sistemas de producción de carne. La mayoría de los desechos agroindustriales se caracterizan por ser altamente fibrosos o bien poseer una alta proporción de Nitrógeno no proteico (NNP), por lo que su mejor alternativa de empleo como fuente de nutrientes está en la alimentación de los rumiantes (Egaña, J. I. 1981).

Existen métodos para tratar los forrajes fibrosos que permiten incrementar el consumo y la digestibilidad de estos alimentos y por lo tanto incrementar la productividad animal. Entre los tratamientos utilizados para aumentar la digestibilidad de sustratos con alto contenido de lignina, se dispone de la inoculación de hongos miceliales y comestibles como *Aspergillus niger*, *Pleurotus spp.* y otros. Estos tratamientos permiten el aumento de la fermentación de la fibra, la digestibilidad y el valor nutritivo de los sustratos por su alto contenido en proteínas, vitaminas y minerales.

La generación de productos de alto valor agregado o la utilización de residuos en subproductos útiles mediante la bioconversión de sustratos sólidos ha sido utilizada desde la antigüedad. Recientemente muchas universidades y centros de investigación se han enfocado a desarrollar tecnologías biotecnológicas de bioconversión para aprovechar al máximo los residuos orgánicos (esencialmente celulosa y lignocelulosa) en la producción de alimentos, forrajes, combustibles, fertilizantes e incluso enzimas para su aprovechamiento en la industria pecuaria y agroindustrial (El-Newawy 1993; Cowan *et al.*, 1996; y Pandey, *et al.*, 2000).

El proceso de fermentación en estado sólido (FES) ha sido tradicionalmente empleado en Japón para la producción de alimentos fermentados a partir de soja y arroz. La fermentación en estado sólido, mediante el empleo de hongos filamentosos, para el enriquecimiento proteico de residuos agroindustriales, como el bagazo de caña de azúcar, el beneficiado de cítricos y del café, ha sido señalada por varios autores. Aguilar-Navarro, *et al.*, (2014) estudiaron el proceso de fermentación sólida con *Aspergillus niger* sobre los residuos sólidos de la obtención de aceite de higuera, aumentando el contenido de nitrógeno y proteína en las condiciones de humedad evaluadas. En general se apreciaron disminuciones en los contenidos de grasa y fibra bruta, con un producto final con características para la utilización como abono orgánico y alimento animal.

Los hongos filamentosos son los microorganismos más adaptados al cultivo en medio sólido (*Aspergillus*, *Claviceps*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*). Los hongos ectomicorrízicos (*Lactarius*, *Pisolithus*, *Suillus*), como los hongos saprófitos (*Lentinus*, *Pleurotus*), crecen muy bien en medio sólido sobre diferentes materiales biodegradables y no biodegradables. El crecimiento de *Penicillium digitatum* tiene un desarrollo fácil a 25 °C y una humedad relativa alta (90 – 95 % R.H.), tras 7 días, forma colonias de 17 - 23 mm, planas, algodonosas, con el centro algo irregular y el margen flocooso, fino, entero, con el micelio blanco, sin exudaciones líquidas. El reverso es marrón anaranjado, grisáceo anaranjado, rojo claro o blanco-amarillento. Produce gran cantidad de conidios (estructuras de reproducción asexual) verde-grisáceos o color oliva. Puede permanecer durante meses sobre la superficie y desarrollarse posteriormente en cuanto entran en contacto con el medio adecuado.

En la ciudad de Misantla, Veracruz es una zona ganadera que produce Maíz, Naranja, Mandarina y otros vegetales de bajo valor agregado, los cuales generalmente no son industrializados, además de que sus desechos en algunas plantas procesadoras son un problema de contaminación ambiental. Por otra parte esta ciudad cuenta, por sus condiciones geográficas y riqueza natural con más de 100 estanques rústicos para la producción mojarra tilapia y algunas especies acuáticas, los cuales muchos se encuentran en desuso por la falta de incentivos para la compra de alimentos de buena calidad. En este sentido la ciudad cuenta con los elementos necesarios para la generación de alternativas para la alimentación animal mediante el tratamiento de los residuos agroindustriales y el aprovechamiento de los espacios para la producción de subproductos que puedan ser utilizados para la alimentación animal. Esto se

plantea mediante la fermentación de desechos o subproductos de la región que puedan ser fácilmente reconvertidos mediante procesos biotecnológicos, económicos y fáciles de montar como la tecnología FES en sustratos con un mayor valor agregado o que puedan ser utilizados más eficientemente como piensos animales. Por lo tanto, en este trabajo se montaron fermentadores para el enriquecimiento proteico de bagazo de naranja, rastrojo de maíz y *Elodea canadensis* para evaluarlos como pienso alimenticio en un modelo animal de *Gallus domesticus* para analizar la ganancia de peso de esta especie y validar el uso como una alternativa de pienso animal.

2. Desarrollo

Material vegetal

Para obtener el rastrojo de maíz, se seleccionó un área de cultivo en la ciudad de Misantla, Veracruz cercana al ITS Misantla. El cultivo de Maíz utilizado estaba cortado con un periodo de antelación de 20 días, por lo que el material estaba seco (4 Kg de materia seca). El bagazo de naranja se obtuvo de una planta procesadora de cítricos (Citrus EX), ubicada en la Carretera a Cañadas Libramiento sin Núm., Martínez de la Torre, Veracruz, México. El subproducto utilizado fue el resultado del procesamiento normal de la extracción de jugo que realiza la planta procesadora (5 Kg de materia húmeda). La planta acuática *Elodea canadensis* (2 kg de material húmedo) fue obtenida del área de Acuicultura del ITS Misantla. Una vez obtenidas cada una de las muestras, se trasladaron inmediatamente al laboratorio de Investigaciones del ITS Misantla para darle los tratamientos adecuados y poder utilizarlos como sustrato para la FES.

Pretratamiento de los sustratos

Todos los materiales necesitaron un pretratamiento para poder someterlos a la fermentación en estado sólido.. En el caso del rastrojo de maíz y el bagazo de naranja fue necesario disminuir el tamaño de las muestras a segmentos cortos de alrededor de 1 cm de longitud. Para la *Elodea*, la reducción no fue necesaria en ninguna de las etapas ya que una vez seco es un material muy frágil. Una vez reducido el tamaño de las muestras, fue necesario eliminar la humedad contenida en las muestras mediante el uso de una estufa de secado de flujo laminar a 60 °C durante 24 horas hasta peso constante para estandarizar el proceso con los otros sustratos.

Cepa del microorganismo (*Penicillium digitatum*)

La cepa de *Penicillium digitatum* empleada en este proyecto fue donada por el Dr. Gustavo Martínez Castellanos del Departamento de Ingeniería Bioquímica perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Para su cultivo se prepararon 3 matraces Erlenmeyer de 250 ml con aproximadamente 50 ml de PDA (Papa dextrosa agar) solidificado en el fondo. La inoculación del microorganismo se realizó por asada en forma cruzada en el medio y se dejó crecer durante 120 hrs a 30 ± 2 °C en oscuridad total. Las esporas se obtuvieron mediante recolección con una solución fisiológica (0.85 % NaCl) con Tween 80 (0.02 %). Una vez colectadas las esporas de *P. digitatum*, se procedió a realizar un conteo de las esporas en la cámara de Neubauer con un microscopio óptico Carl Zeiss a 40 X.

Inoculación del material vegetal para la FES

Una vez reducido y secado el material vegetal a fermentar se formaron tres grupos iniciales de material que fueron empaquetados (forma cilíndrica) con papel Craft, teniendo pesos de 395.82, 344.31 y 424.43 g de material (rastrojo, elodea y bagazo respectivamente). Estos paquetes fueron humedecidos y esterilizados previamente al inicio del experimento y después cada paquete fue inoculado con una solución de 100 ml esporas de *Penicillium digitatum* para completar una concentración final de 1×10^3 esporas/g de sustrato.

Reactor para la Fermentación en estado sólido

Para la FES se construyeron tres fermentadores de PVC de 41 cm de altura y 11 cm de diámetro con tapas removibles y fueron pintados con aerosol negro para mantener la oscuridad interna. Cada uno de los recipientes contaba con orificios en la parte inferior de 6 mm de diámetro para oxigenación y dos salidas en la parte superior, para medición de la temperatura y la salida de aire. Una vez envueltos e inoculados los sustratos a fermentar, se introdujeron en los fermentadores y se conectaron a una bomba de aire ELIT 802 con un flujo de aire de 240 L/h a 28 ± 5 °C (Ambientales) y se midió la temperatura cada 24 h. Para evitar contaminación del laboratorio el material fue esterilizado después de 15 días de experimentación para la toma final de la muestra.

Determinación de proteína Cruda

Para este análisis se utilizó el método de Kjendahl mediante digestión, destilación y titulación para conocer la cantidad de bioproteína cruda producida en el transcurso de la fermentación. Esta determinación se llevó a cabo al inicio y al final de la fermentación con cada uno de los sustratos. El equipo utilizado fue un digestor Kjendahl CRAFT (México) del laboratorio del ITSM.

Evaluación de la ganancia de peso en un modelo animal

Para mejorar las condiciones de aceptabilidad del pienso por los animales utilizados se homogenizó y disminuyó el tamaño de partícula de cada uno de los fermentados, en un molino de mano marca Estrella T172. Para esta evaluación fue necesario adquirir 12 pollos de granja de aproximadamente 7 días de nacidos (*Gallus domesticus*) que fueron colocados en un corral de madera de cedro con una altura de 40 cm, un largo de 80 cm, y un ancho de 35 cm, recubierto con tela pollera aislante de 25 mm de abertura. Para mantener a los 12 animales vivos y separados en grupos de tres, el corral contaba con divisiones de 40 cm. Cada división contaba con comederos de plástico con una altura de 4 cm y un ancho de 5 cm, para proporcionarles agua y alimento (sustrato fermentado) a libre demanda. Para observar la ganancia de peso, cada uno de animales en experimentación fueron pesados por triplicado diariamente en una báscula automática Escali.

3. Resultados y discusión

Los tres sustratos fueron molidos para mejorar el consumo de los sustratos por los animales en experimentación, *Elodea canadensis* que tenía un color verde - oscuro, con un olor a hierba fresca, con una consistencia de polvo húmedo muy manejable con las manos, el bagazo de naranja tenía un color café uniforme, húmedo al tacto y además contenía un aroma propio a sus aceites esenciales con buena maleabilidad. Por otra parte, el rastrojo de maíz era un material más seco, lleno de fibras con olor a polvo que definitivamente no era agradable a la vista, ni al olfato. La Tabla 1 muestra el contenido inicial y final de cada uno de los sustratos fermentados y enriquecidos proteicamente con *Penicillium digitatum*. Como se puede observar *Elodea canadensis* obtuvo un aumento de 7.4 % después de un lapso de 15 días de fermentación, que fue más alto en comparación con el rastrojo y el bagazo, lo que es debido a que la planta se encontraba en estanques donde existen microorganismos y sales, los cuales pueden servir de sustratos para el crecimiento de *Penicillium digitatum*, además de que se encontraba en menor tamaño de partícula lo que promovió mejor crecimiento.

Sustrato	Porcentaje Inicial	Porcentaje Final
<i>Elodea canadensis</i>	4.1	11.5
Rastrojo de Maíz	6.8	9.0
Bagazo de naranja	6.3	9.6

Tabla 1. Contenido nitrogenado por método Kjendahl de los sustratos fermentados.

Por otra parte, los otros dos sustratos tuvieron valores finales menores en comparación con *E. canadensis*, lo indicó menor crecimiento del microorganismo. La evaluación del pH de las muestras iniciales y finales mostraron que en el caso del rastrojo de maíz, se observó una ligera alcalinización del medio de cultivo que paso de 6.6 a 7.4 (Tabla 2), lo cual indicó que el medio de cultivo no tuvo mucha actividad metabólica, resultados que coinciden con los observados en el porcentaje de aumento de proteína en este sustrato. El bagazo de naranja mostró un pH inicial más ácido que los otros sustratos debido a la naturaleza propia de este deshecho, que cuenta en su composición química inicial, con diferentes ácidos orgánicos provenientes de la pulpa del fruto. El pH inicial de este sustrato fue de 5.6 y paso a los 15 días de fermentación a un pH de 6.7, lo que si bien indico crecimiento del micelio de *Penicillium digitatum* por la alcalinización de medio en la FES, no llegó a pasar a un pH básico. Esto pudo haber limitado el crecimiento del microorganismo en el sustrato. En el caso de la *Elodea canadensis* puede observarse que los valores iniciales eran de 6.8 mientras que al final de la fermentación el pH se elevó hasta 8.88, lo que indicó mayor actividad metabólica y buen crecimiento del hongo inoculado, ya que el pH de los medios fermentados por los hongos aumenta.

Sustrato	pH Inicial	pH Final
<i>Elodea canadensis</i>	6.8	8.88
Rastrojo de Maíz	6.6	7.4
Bagazo de naranja	5.6	6.7

Tabla 2. Determinación de pH inicial y final en los sustratos fermentados.

Para la realización de la ganancia de peso en un modelo animal (*Gallus domesticus*) inicialmente se plantearon experimentos controles con pollos de granja con los sustratos sin fermentar, sin embargo la aceptación de los sustratos por las aves de corral fue mínimo, por lo que no comían el alimento y murieron a los pocos días de iniciado el experimento (datos no mostrados). Al inicio del experimento se contó con 12 pollos de granja adquiridos en una comercializadora local, lo cuales tenían un rango de pesos de 65.5 ± 4.94 g, los cuales fueron seleccionados por peso para evitar variaciones y fuentes de error innecesarias al inicio del experimento. Los animales en general lucían sanos y ávidos de alimentación, pues durante el crecimiento inicial, las aves se les suministra generalmente alimento iniciador o de crecimiento cuya composición es: proteína mínima (20.0%), humedad (12.5%), grasa (6.0%), fibra (3.0%) extracto libre de nitrógeno (50.0 %); cuya finalidad es promover un crecimiento rápido a este tipo de animales.

En figura 1 puede observarse la ganancia del peso de las aves de corral seleccionadas durante 22 días de crecimiento. Inicialmente las aves mostraron una resistencia al consumo del producto fermentado y pulverizado, sin embargo al paso de los días las aves se acostumbraron al alimento y lo comían de manera normal. A pesar de que en la fermentación se observó un sustrato medianamente colonizado (50 %), en el caso del rastrojo de maíz, se observó un deterioro rápido y constante de las aves, por lo que a los 3 días del experimento las aves murieron, probablemente por la falta de proteína y nutrientes necesarios para su mínimo mantenimiento. A pesar de este resultado, el rastrojo de maíz es utilizado comúnmente en la alimentación de ganado vacuno, que es suplementado con urea (Parsi, *et al.*, 2001), el hecho de que se haya colonizado un 50 % del sustrato y que se haya ganado 2.2 % de proteína, es indicativo de que un animal más resistente y robusto como el ganado, si podría mejorar los resultados obtenidos en este trabajo, ya que este tipo de animales usualmente son alimentados con estos sustratos sin fermentar.

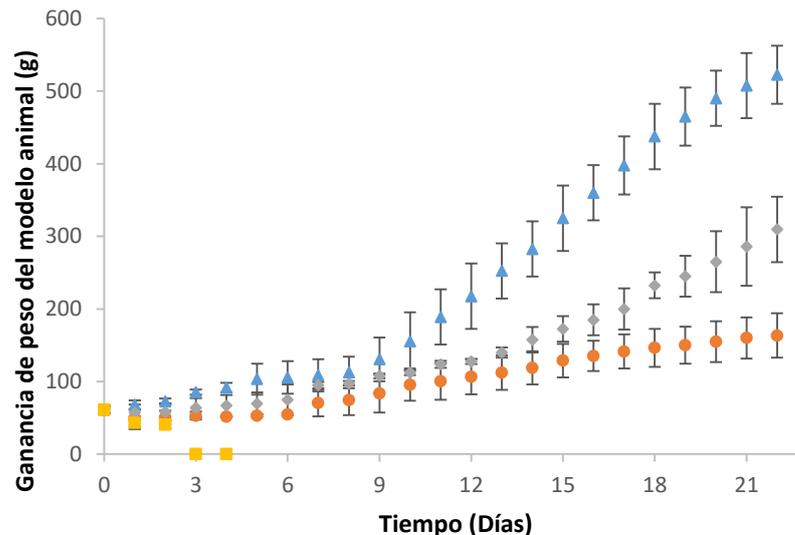


Figura 1. Ganancia de peso del *Gallus domesticus* durante 22 días de crecimiento con FES de *Penicillium digitatum* (▲ Alimento comercial; ◆ *Elodea canadensis*; ● Bagazo de naranja y; ■ Rastrojo de maíz).

Para el caso del alimento comercial se observó aumento de 61 a 522 g en 22 días, lo cual fue constante y favorable para los animales en experimentación, ya que fueron creciendo sin problemas y complicaciones, lo que generó una ganancia de peso superior en comparación con los sustratos evaluados. Esto sucedió así, debido a que el alimento comercial cuenta con composiciones completas principales de proteína, humedad, grasa, fibra entre otras, que ayudan a desarrollar y crecer más rápidamente en comparación con los sustratos enriquecidos, además de que los animales comían alimento a libre demanda, lo que genera desperdicio y gasto excesivo.

En el caso del bagazo de naranja se observó un aumento ligero de peso, ya que las aves no lograron adaptarse al 100 % al consumo de este sustrato, aunque este sustrato contaba con una consistencia suave y con un aroma llamativo debido a los aceites esenciales de *Citrus sinensis*. Durante el desarrollo del experimento se pudo observar desnutrición y un crecimiento lento, debido a que al inicio del bioensayo los animales consumían lentamente el sustrato fermentado. Una vez adaptados a este sustrato (6 días) el aumento de peso fue mayor donde se observó una ganancia de 93 gramos en 15 días de alimentación lo que fue muy pobre e insuficiente para mantener este tipo de animales. El hecho de que no hayan muerto los animales, fue resultado del contenido en azúcares, que son residuo de su procesamiento. De la misma manera que el rastrojo de maíz, debe recomendarse su estudio en otro modelo animal, ya que este subproducto es utilizado de manera común como un alimento alternativo en épocas de escasez, además de que se enriqueció proteicamente.

En el caso de *Elodea canadensis* pudo observarse que los animales se adaptaron adecuadamente al consumo del alimento propuesto, ya que lo consumían de manera normal. De manera general se observó una ganancia lenta, pero constante de peso por los animales, esta pasó de 57 a 309 g, lo que hizo una ganancia neta de 252 g en 22 días. Si bien, el aumento de peso fue de 213 g menos que el alimento comercial, el consumo de *Elodea canadensis* permitió alcanzar al menos el 59 % del peso obtenido por los animales sustentados con el alimento comercial. Es importante mencionar que la planta evaluada crece de manera constante en cualquier estanque rico en materia orgánica y que no necesita cuidados especiales para su crecimiento y desarrollo, por lo que es completamente factible su cultivo y procesamiento para obtener un alimento que pueda sustentar la sustitución del 50 % del alimento comercial. Sin

embargo estas especulaciones deben de ser corroboradas con un experimento donde se sustituya el 50 % de la dosis diaria del alimento comercial con *Elodea canadensis*. Otros trabajos muestran sustituciones de 10 al 30 % de la dosis diaria recomendada de los alimentos comerciales (Lizama *et al.*, 1988) y en este experimento se sustituyó el 100 % del alimento comercial con el apoyo de 2 días por semana con alimento comercial para ayudar al sostenimiento de las aves de corral. Por tanto, se puede decir que *Elodea canadensis* enriquecida proteicamente mediante FES con *Penicillium digitatum* es una buena alternativa para la alimentación animal y ganancia de peso, lo cual puede disminuir los gastos económicos en granjas, ya que esta planta es fácil de cultivar, además de que su procesamiento no tendría un costo excesivo comparando con el alimento comercial.

4. Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó una FES de tres sustratos (Rastrojo de maíz, Bagazo de naranja y *Elodea canadensis*), para evaluar el crecimiento de *Penicillium digitatum* sobre los sustratos y analizar la ganancia en proteína total y la asimilación en un modelo animal *in vivo*. Los tres fermentadores que se construyeron de PVC de aproximadamente 41 cm de altura y 11 cm de diámetro, funcionaron correctamente durante el lapso de fermentación, ya que el micelio creció adecuadamente en el material vegetal fermentado. Después del tiempo de fermentación, se observó que el micelio de *Penicillium digitatum* mostró mejor adaptación a *Elodea canadensis*, ya que pudo desarrollarse hasta en un 85 % de la superficie total, lo que fue atribuido a la estructura delgada, porosa y con una alta superficie de contacto de este material. Por otra parte, los porcentajes de infestación de los otros sustratos fueron de alrededor del 50 – 75 %. En el caso de *Elodea canadensis* se obtuvo una ganancia de 7.4 %, valor mayor a las observadas por el bagazo y el rastrojo que obtuvieron valores de 3.3 y 2.2 % respectivamente. En general los sustratos mostraron buen aroma y consistencia después de la molienda. El bagazo de naranja tuvo un aroma agradable a aceites esenciales y una consistencia suave y húmeda. *Elodea* mantuvo un aroma a hierba fresca con una consistencia de polvo húmedo muy manejable con las manos. Por otra parte, el rastrojo de maíz se mostró como un material seco, lleno de fibras y con olor a polvo. En los primeros dos casos se considera que tanto la consistencia como el aroma son suficientes para realizar una formulación de pienso alimenticio, lo que se pudo comprobar con la aceptación de los animales de este experimento. En el desarrollo de este trabajo se pudo observar que el rastrojo y el bagazo de naranja fermentados en estado sólido con *Penicillium digitatum* no obtuvieron buenos resultados de ganancia de peso para este modelo animal. Sin embargo *Elodea canadensis* obtuvo una ganancia de 252 g debido al consumo de este sustrato fermentado por lo que se alcanzó el 59 % de la ganancia de peso con respecto al alimento comercial, por lo que se considera una buena alternativa para usarlo como sustrato para la elaboración de un alimento para animales

5. Referencias

- Aguilar-Navarro B., Camacho-Pozo M. y Serrat-Díaz M. de J. (2014). Enriquecimiento proteico de residuales agroindustriales mediante fermentación sólida con el hongo filamentoso *Aspergillus niger*. *Revista Cubana de Química*. 26(1):17-25.
- Cowan, W. D., Korsbak, A., Hastrup, T. y Rasmussen, P. B. (1996). Influence of added microbial enzymes on energy and protein availability of selected feed ingredient. *Anim. Feed Sci. Technol.* 60:311|
- Egaña, J. I. 1981. Utilización de desechos agroindustriales en la alimentación de rumiantes. *Monografías de Medicina Veterinaria*. 3:(1).
- El-Newawy, A. S. (1993). Microbial biomass production from organic solid substrate. Cap. 13. p. 247.
- González-Reyna A., Lucero-Magaña F. A., Zárate-Fortuna P., Hernández-Meléndez J., Ibarra-Hinojosa A., Limas-Martínez A. G. y Martínez-González J. C. (2013). Evolución del valor nutritivo de la pulpa de naranja fresca almacenada durante siete días. *Zootecnia Tropical*. 31(2):159-164.
- Lizama L. C., Marion J. E. y McDowell L. R. (1988). Utilization of aquatic plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in broiler chick diets *Animal Feed Science and Technology*. 20(2):155 – 161.
- McDowell L. R., Lizama L. C., Marion J. E. y Wilcox C. J. (1990). Utilization of Aquatic Plants *Elodea canadensis* and *Hydrilla verticillata* in Diets for Laying Hens.: 1. Performance and Egg-Yolk Pigmentation. *Poultry Science*. 69(4):673-678.
- Pandey, A., Soccol, C.R. y Mitchell, D. (2000). New developments in solid state fermentation: I bioprocess and product. *Process Biochem* 35:1153.
- Parsi J., Godio L., Miazzi R., Maffioli R., Echevarría A. y Provencal, A. (2001). Valoración nutritiva de los alimentos y formulación de dietas. Pajas, rastrojos y diferidos. pág. 7-32.
- Salvador Molina y Axel González. 2012. Uso de *Elodea* (*Egeria densa*) en la alimentación de pollitas de estirpes. *UNESR*. Pág. 32-36.
- Sánchez-Acosta, E., Ortega-Cerrilla, M. E., Mendoza-Martínez, G. D., Montañez-Valdez, O. D. y BuntinxDios S. E. (2012). Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento *Interciencia*. 37(5):395-399

SIAP. (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción agrícola. Ciclo: Cíclicos y Perennes. Modalidad: Riego + Temporal. Revisado en línea: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp.

6. Notas biográficas

¹ La **C. Esmeralda Abigai García Suarez**, es estudiante de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 132t0141@itsm.edu.mx.

² La **C. Mayra Durán Córdova**, es estudiante de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 132t0138@itsm.edu.mx.

³ El **Dr. Gustavo Martínez Castellanos** es profesor investigador del Departamento de Ingeniería Bioquímica y de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gmartinezc@itsm.edu.mx.

⁴ El **Dr. Gregorio Fernández Lambert** es profesor investigador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx.

⁵ El **M.C. Oswaldo Castor Ortiz Zamora**, es profesor del Departamento de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ocortizz@itsm.edu.mx.

Diseño de un Mesocosmo de Humedal Construidos con Materiales Alternativos Para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Comunidad de Pastorías Actopan, Ver

Luis Carlos Sandoval Herazo, MDRS.¹, Dr. José Luis Marín-Muñiz², Dr. Alejandro Alvarado Lassman³, Raúl Castelán Estudiante de Maestría en paisaje y Turismo rural⁴, Estudiante de ingeniería. Donato Ramírez López⁵.

¹ Luis Carlos Sandoval-Herazo, Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Tecnológico de Orizaba. ing.luiscarlossandoval@gmail.com

² El Dr. José Luis Marín-Muñiz, es Profesor-Investigador de la Academia en Desarrollo Regional Sustentable. El colegio de Veracruz. soydrew@hotmail.com

³ El Dr. Alejandro Alvarado-Lassman, es Profesor-Investigador de la División de Posgrados en el Tecnológico de Orizaba. lassman@prodigy.net.mx

⁴ Raúl Castelán Cabaña es estudiante de Maestría en Pasaje Rural del el Colegio de Postgraduados, sede Córdoba. Raúl Castelán Cabañas. castelanraul@gmail.com

⁵ Donato Ramírez López es estudiante de la carrera de ingeniería civil. Donato Ramírez López, es alumno en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. 142t0330@itsm.edu.mx

Resumen - La contaminación de aguas es una situación creciente en el mundo. Para atacar este problema, los humedales construidos (HC) son una opción que ha tomado fuerza en las últimas dos décadas, implementándose en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en comunidades en su mayoría rurales. Los estudios a nivel piloto que se han implementado en HC a nivel macrocosmos, son realizados con materiales tradicionales como cemento, bloque, ladrillos entre otros, dejando entre dicho la sustentabilidad del proceso de diseño y construcción de estos. En este estudio se presenta el diseño de un HC con materiales alternativos y tradicionales, pero con una base artesanal a partir de materiales orgánicos de difícil infiltración, además utilizando plantas ornamentales que han sido ampliamente evaluadas y probadas en su eficiencia de remoción de contaminantes, lo cual resulta en una propuesta de diseño de un HC de menor costo que los tradicionales, más estético y, novedoso, que aprovecha materiales de la región de estudio "Pastorías, Actopan, ver", para la sustitución de la base y obteniendo un diseño amigable con el medio ambiente. Marcando pautas en nuevos diseños, propuestas de materiales y plantas que pueden ser usados para la construcción de estos sistemas de tratamiento de aguas.

Palabra(s) clave: Aguas residuales, Comunidades, Contaminantes, Humedales.

Abstract - Water Pollution is a situation ever increasing in the world. To face this problem, artificial or constructed wetlands implementation (HC) are an option that has gained strength in recent two decades in the treatment of domestic sewage in rural communities overall. The pilot studies are implemented in macrocosm level have been developed with traditional materials such as cement, block, bricks among others, but the sustainability process design and construction of these has been questionable. In this study the design of the HC involves traditional materials such as block, bricks, cement, but with a craft base designed with a mixture of organic materials of low infiltration and using ornamental flowering plants that have been reported as excellent in pollutants removal, obtaining as a result, a sustainable HC for "Pastorías, Actopan" replacing the base design with an economic, esthetic and environmentally friendly system.

Key words – Communities, Waste, Water pollution, Wetlands.

1. Introducción

El agua es una prioridad esencial para lograr el desarrollo de cualquier población. Este recurso es de vital importancia, sin embargo, el crecimiento poblacional y su uso desmedido ha favorecido su contaminación. La calidad del recurso es un problema en comunidades rurales, por ello existe la necesidad de crear alternativas que sean ecológicamente amigables con el ambiente. De acuerdo a Conagua (2014), a nivel nacional existen 4904 plantas de tratamiento, de las cuales, 2287 están instaladas en áreas urbanas y 2617 tratan aguas residuales industriales. Este número de sistemas solo tratan el 50 % de las aguas residuales urbanas y el 29 % de las aguas industriales. Para el caso de comunidades rurales menores a 2500 habitantes, estas pocas veces son consideradas para la instalación de tecnologías para tratar sus aguas. (Marín et al, 2016). Por lo anterior, es habitual que en comunidades rurales las descargas de agua residual sean un foco de posibles infecciones, y más aún cuando estas son vertidas a los cuerpos de agua que también son utilizados como sitios recreativos o donde el cuerpo de agua es la fuente principal del recurso para las actividades diarias (Zurita et al., 2011).

La falta de implementación de sistemas de tratamiento para mejorar la calidad del agua alude a los altos costos que se requieren para la instalación, manejo y operación de las plantas tratadoras de agua, sumado a los elevados consumos de energía que estas requieren.

Kivaisi (2001), menciona que los HC son algunas de las tecnologías eficientes recientemente probadas para el tratamiento de aguas residuales. En comparación con los sistemas convencionales de tratamiento, los humedales construidos son de bajo costo, son fácilmente operados y requieren poco mantenimiento, y tienen un fuerte potencial de aplicación en los países en desarrollo, en particular de las pequeñas comunidades rurales. Sin embargo, estos sistemas no han encontrado un uso generalizado, debido a la falta de conocimiento en el desarrollo tecnológico por parte de las comunidades locales. Para la construcción de estos sistemas se pueden considerar diversos sustratos que en general son de material poroso, por donde el agua circula y remueve contaminantes mediante procesos biológicos en conjunto con la vegetación presente (Marín-Muñiz, 2016).

Dado lo anterior, resulta pertinente el utilizar alternativas ecológicas para la reutilización del agua. En este sentido, una opción viable es el uso de HC con materiales alternativos, dichas tecnologías son diseños ingenieriles y ecológicos que cuentan con el propósito de imitar la función de mejorar la calidad del agua de los humedales naturales. La ventaja de usar dicha tecnología radica en el bajo costo de construcción, fácil operación y mínimo mantenimiento para su buen funcionamiento (Berberidou et al., 2016). La falta de recursos económicos en comunidades rurales desfavorece la creación de plantas de tratamiento de aguas residuales debido, a los costos elevados de materiales utilizados en la construcción de cimentación y desplante de muros. Por lo tanto los HC, con materiales alternativos se convierten en una opción viable para el tratamiento de aguas residuales por medio de la adaptación de recursos materiales característicos de la región, los cuales permiten el cambio de la base tradicional de concreto reforzado usado en estas construcciones, sustituyendo así a los antiguos materiales que no son amigables con el medio ambiente y por lo que resulta factible y económica su implementación (Wu et al., 2016). Los HC, a pesar de que han sido ampliamente usados y evaluados en cuanto a su eficiencia de remoción de contaminantes en países europeos, Estados Unidos y otras partes del mundo (Stottmeister et al., 2005; Heers, 2006 y Kamau, 2009), en México el uso de estos es limitado y más aún el uso de plantas ornamentales en sistemas tradicionales de tratamiento, siendo que éstas darían otros beneficios estéticos y económicos al sistema.

2. Desarrollo

El humedal construido para la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas se implementará en la localidad de Pastorías, perteneciente al Municipio Actopan del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (México); se localiza en las coordenadas geográficas Longitud: $-96^{\circ} 57'05.56''$ y Latitud: 19.533° . Está a 260 metros de altitud y cuenta con una población de 620 habitantes (INEGI, 2010). (Ver figura 1).

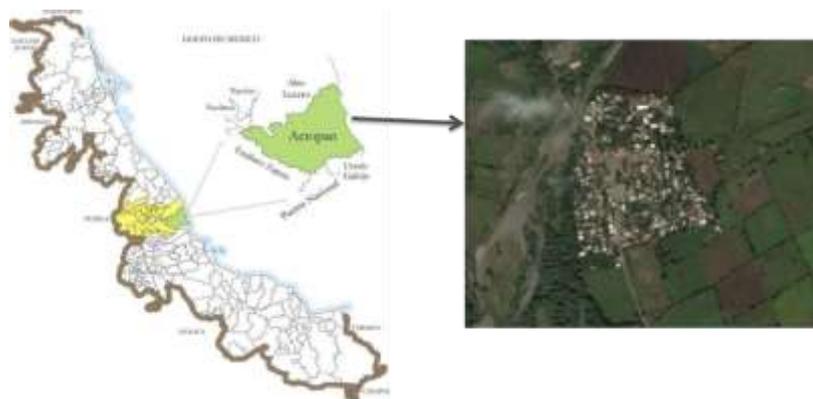


Figura 1. Ubicación Geográfica del municipio de Actopan, localidad en la que se llevara a cabo el presente estudio, Fuente: INEGI (2010)

El diseño del HC, con materiales alternativos se realizó por medio de cuatro fases:

- La primera fase, se identificó materiales típicos más comunes presente en la comunidad de Pastorías, Actopan, ver, además de los no convencionales para determinar los materiales con los cuales se construirá el HC.
- La segunda fase, se realizaron estudios previos como inspección visual, pruebas de mecánicas de suelos en cinco puntos de la zona de estudio, a una profundidad de un metro y se calcularon los volúmenes de aguas

de rangos óptimos de diseño según la población, como indica la NOM-022- SEMARNAT-2003 (Morzara-Luna et al., 2014).

- La tercera fase se enfocó en diseño de las paredes laterales y centrales del humedal.
- La cuarta fase fue el diseño de la base del humedal alternativo, que estará elaborado con mariales típicos de la zona de estudio como son, el estiércol de vaca y la baba de nopal en una mezcla en la proporción sugerida por estudios previos (Hernández y Ruiz-Enzástiga, 2010), la aplicación de los métodos actualmente empleados serán analizados por la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Análisis del Ciclo de Vida (ACV), y Mejor Tecnología Disponible (MTD), para la selección, diseño, análisis económico, análisis del impacto social y la regulación planificación (Noam-Lior, 2016). Procediendo así al diseño del HC, mediante el programa asistido por computadora AutoCAD versión (2016), (Plata y Orlando, 2016). La información se presenta en la figura 2.



Figura 2. Metodología utilizada para la investigación

Además de la determinación de materiales alternativos para la construcción de HC , como parte del diseño sustentable en el entendido de las tres aristas de la sustentabilidad (Ambiental, Económico y Social) se realizó una revisión bibliográfica para identificar las especies de plantas ornamentales con mayores eficiencias de remoción utilizadas en México con la intención de que dichos sistemas, además del aporte ecológico en cuanto a la remoción de contaminantes de aguas residuales, permitan generar un beneficio económico extra al utilizar plantas ornamentales, así como mejorar la calidad visual del paisaje, de tal manera que el uso de este tipo de especies cumpla con diversas funciones en las comunidades rurales.

3. Resultados

Primera fase: Para la identificación de los materiales típicos más comunes en la zona de estudio se realizó una investigación de mercado e inspección en la zona de estudio, la información se muestra en la tabla 1.

Insumo	Disponible
Arena	Abundante
Piedra de rio	Abundante
Cemento	Escaso
Ladrillo	Escaso
block	Escaso
Cal	Escaso
Estiércol de Vaca	Abúndate
Nopal	Abundante

Tabla 1.- Insumos utilizados

Segunda fase: los resultados de la inspección visual arrojaron la zona más adecuada para la construcción del humedal en un lote ubicado en las afueras de la comunidad (19° 32' 47.96" Norte y 96° 4' 8.99" Oeste) con una pendiente con respecto al drenaje y sistema de alcantarillado del 30%. Las pruebas de mecánica de suelos arrojaron resultados de un suelo arenoso como los presentados en la tabla 2.

<i>PRUEBA NUMERO</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
PESO MOLDE+ SUELO HUMEDO g	3830	3910	3980	3980	3890
PESO DEL MOLDE g	1942	1942	1942	1942	1910
PESO SUELO HUMEDO g (Wm)	1888	1968	2038	2038	1980
PESO ESPECÍFICO HUMEDO Kg/m ³	2009.15	2094.29	2168.78	2168.78	2107.06
PESO SUELO HUMEDO +CAPSULA g	420	420	420	420	420
PESO SUELO SECO +CAPSULA g	398	395	368	385	382
PESO DEL AGUA g	22	25	32	35	38
PESO CAPSULA g	220	220	220	220	220
PESO SUELO SECO g	178	175	168	165	162
CONTENIDO DE AGUA % (1)	12.36	14.29	19.05	21.21	23.46
PESO ESPECÍFICO SECO Kg/m ³ (yd)	1788	1832	1844	1789	1707

Tabla 2.- puntos de monitoreo de los estudios de mecánica de suelo

Los resultados se comprobaron aplicando los criterios de peso específico (Kg/m³) Versus Contenido de agua en %, como se presenta en la figura 3.

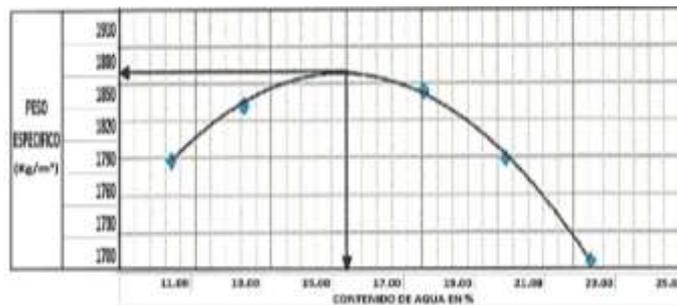


Figura 3. Relación Peso específico Vs Contenido de agua

Validando valores de suelos arenosos, en los pesos específicos húmedos máximo (Yd max) de 1860 Kg/m³ y Peso específico óptimo (W OPT) de 17%. Que se encuentra en rango de suelos arenosos con capacidad de permitir la infiltración de agua, con facilidad.

Los cálculos de los volúmenes de aguas con respecto a la tabla de rangos óptimos de diseño (Olcina, 1995) para la población de la comunidad arrojó el resultado presentado en la tabla 3.

Estos resultados marcan el camino para la selección tanto de diámetros como de materiales a implementar en el diseño, debido a que se observó que los datos de la población necesitan diámetros mínimos de 2 pulgada teniendo en cuenta los volúmenes de flujos menores a 8.6 m³/día.

Tercera fase: mediante el programa asistido por computadora AutoCAD (2016), se realizó el diseño de las paredes laterales e interiores del HC, como se presenta en la figura 4. También se tuvieron en cuenta los resultados de selección de características de volumen de diseño de agua con respecto a tablas de valores óptimos de diseño y tipo de materiales.

PARÁMETRO	RANGO	VALOR TÍPICO
Carga hidráulica	0.02-0.24 m ³ /m ² /día	4.7 cm/día
Duración de detención	4-20 días	6-8 días
Cantidad del flujo	-	0.34 L/seg
Velocidad del flujo	<8.6 m ³ /día	-
Profundidad de grava	0.3-0.6 m	0.5-0.6 m
Profundidad de agua	0.15-1 m	0.4-0.6 m
Profundidad de Zona de Raíces	0.3-1 m	0.6 m
Tamaño de Grava (Diámetro):	10-60 mm	20-30 mm
Porosidad de grava	0.18-0.35	-
Cuesta de cama	0.5-2%	0.5-1%
Cuesta de la superficie de grava	0%	0%
Cuesta de [Bems]	2:1-3:1 \geq 3:1	03:01
Anchura	< 61 m	-
Longitud	> 15 m	-
Longitud: Anchura ratio	< 4:1	1.1-1.2
Longitud de zona de entrada	-	2 m
Longitud de zona de salida	-	1 m

Tabla 3.- volúmenes de diseño de aguas con respecto a tablas de valores óptimos de diseño



Figura 4.-Diseño de paredes estrés e internas del HC

Teniendo en cuenta los materiales comunes en la zona y estudios previos se lección el tipo de materiales de los cuales estaría conformado el diseño, como se muestra en la figura 5.

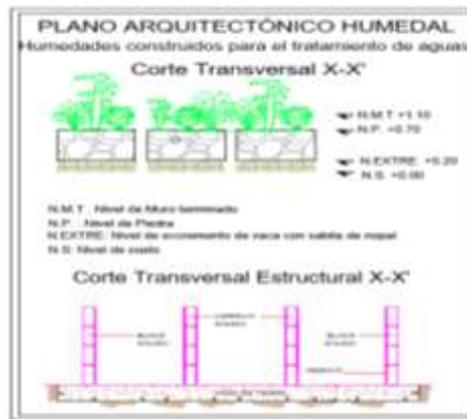


Figura .5- Diseño y materiales a utilizar el HC

En la cuarta y última fase de diseño se seleccionó una mezcla de estiércol de vaca, con baba de nopal para la realización la base del HC, como nuevo material de construcción en este tipo de sistemas, que a su vez cumplieron así los métodos de evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Análisis del Ciclo de Vida (ACV), y Mejor Tecnología Disponible (MTD), como se expresa en la figura 6.

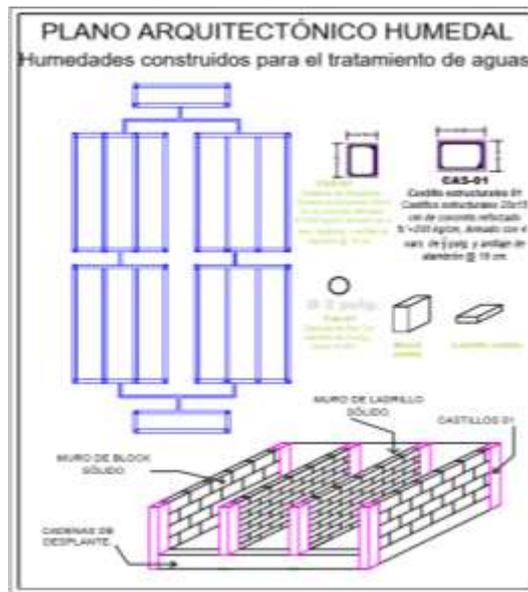


Figura .6- Diseño de base del HC con materiales alternativos

En la tabla 4, se muestra un resumen de estudios realizados exclusivamente en México con humedales construidos que utilizan en alguna parte de su proceso de remediación de aguas residuales al menos una, o más plantas ornamentales. Dentro de dicho proceso, se presentan diversos parámetros de remoción, los cuales se agrupan en la tabla para fines prácticos en materia orgánica e inorgánica, así como el parámetro de coliformes totales. Además, se menciona el tipo de humedal construido utilizado para cada estudio y el nombre de las especies utilizadas en cada uno de ellos.

Tipo de Humedal Construido	Plantas	Porcentaje de Remoción (%)		Referencia	
		Materia orgánica	Materia inorgánica	Coliformes totales	
SSFH	<i>Canna hybrids Strelitzia reginae</i>	86	38.5	-	Merino-Solís <i>et al.</i> , 2015
Híbrido	<i>Zantedeschia aethiopica, Canna indica Strelitzia reginae.</i>	88	56	-99.6 (<i>E. coli</i>)	Zurita y White, 2014
Híbrido	<i>Zantedeschia aethiopica Heliconia Golden Torch</i>	70	76	-	Galindo, 2012
*SSFV	<i>Zantedeschia aethiopica, Arundo donax Medicago sativa</i>	92	82.5	-	Ramírez-Carrillo <i>et al.</i> , 2009
SSFH	<i>Strelitzia reginae, Zantedeschia esthiopica, Canna hybrids</i>	75	66	99	Zurita <i>et al.</i> , 2006
*SSFV	<i>Saccharum spp, Panicum maximum, Vetiveria zizanooides, Heliconia psittacorum y Clorophytum commutatum</i>	92	-	95	Orozco <i>et al.</i> , 2006
SSFH	<i>Canna Indica</i>	72.1	55	-	López <i>et al.</i> , 2015
**Híbrido	<i>Nymphaea mexicana</i>	81.5	96	99	Luna y Aburto, 2014
Híbrido	<i>Zantedeschia Aethiopica y Canna flácida</i>	85.7	72.6	-	Belmont <i>et al.</i> , 2004
Híbrido	<i>Zantedeschia aethiopica, Strelitzia reginae, Anturium andreanum Agapanthus africanus</i>	80	72.7	96.9	Zurita <i>et al.</i> 2009
Híbrido	<i>Zantedeschia Aethiopica Strelitzia reginae</i>	-	-	99.99	Zurita <i>et al.</i> , 2015

Subsuperficial de Flujo Horizontal (SSFH), Subsuperficial de Flujo Vertical (SSFV) e híbrido es una combinación de SSFV y SSFH (el orden del flujo varía en cada estudio).

*Sistemas de humedales con especies ornamentales combinadas con especies no ornamentales

**En el trabajo de Luna y Aburto (2014), se usaron más de 10 especies no ornamentales, para mayor información, consultar referencia.

Tabla 4. Humedales construidos con plantas ornamentales en México con mayores porcentajes de remoción

Derivado de la revisión bibliográfica en libros, revistas y congresos donde se reportó el uso de plantas ornamentales en México, se encontraron una serie de trabajos, de los cuales se tomaron en cuenta solo once estudios donde se observaron mayores eficiencias de remoción tanto de materia orgánica como inorgánica, así como en la eficiencia de remoción de coliformes totales.

El análisis detectó que las plantas ornamentales descritas en la tabla 4 comprueban su uso como removedores de contaminantes de aguas residuales y que los HC donde se utilizaron policultivos, la eficiencia es mayor. Además, se encontró que de la variedad de plantas ornamentales más utilizadas, destacan las Heliconias y las especies de *Zantedeschia* y *Canna sp.*

Por otro lado, para la determinación de los porcentajes de remoción de materia orgánica e inorgánica, se tomó como base el porcentaje de cada parámetro medido que perteneciera a la clasificación de orgánico o inorgánico, se sumaron y finalmente se sacó el promedio. Es muy importante recalcar que cada estudio presenta resultados de parámetros diversos; no existe un estándar de qué mediciones tomar, debido a que cada trabajo de investigación cumple con diferentes objetivos, así como con metodologías particulares. Por todo ello, se recomienda consultar la referencia de interés para mayores detalles.

Cabe mencionar que existen otros estudios en México donde se evaluaron remociones de otras sustancias como arsénico y otros metales pesados, los cuales no fueron tomados en cuenta debido a que el presente trabajo está dirigido al tratamiento de aguas residuales domésticas.

4. Conclusiones

El sistema de Humedal Construido con materiales artesanales, se convierte en una alternativa económicamente viable para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Pastoría, Actopan, Veracruz, supliendo la base de concreto con materiales orgánicos que en este caso reduce el costo de construcción de humedal en 30% del costo que

conllevaría la construcción de este. Y en este caso no era factible utilizar como base en suelos de la región ya que es un suelo arenoso, por lo que con llevo a el diseño de una base con materiales típicos de la zona de estudio.

La utilización de plantas ornamentales en HC principalmente en zonas tropicales del mundo es una técnica que permite la generación de beneficios económicos extras al sistema, mejorando la calidad visual del paisaje y además favorece que las comunidades adopten de mejor manera ecotecnologías como los HC.

En México, existen diversos estudios que avalan la utilización de este tipo de especies con remociones similares a las plantas utilizadas comúnmente en estos sistemas, lo cual representa una enorme ventaja para la implementación de HC en el país. Aunado a esto, México es uno de los cinco países con mayor diversidad de plantas en el planeta, característica que puede hacer que la utilización de este tipo de alternativas para tratar aguas residuales en zonas rurales incremente de manera considerable.

Es importante mencionar que se observó a través de la revisión bibliográfica que los HC donde se trabajó con policultivos demostraron mayores porcentajes de remoción, tanto de materia orgánica como inorgánica. Por lo tanto, se recomienda utilizar diversas especies en sistemas de HC. Por un lado, la ya mencionada eficiencia de remoción y por otro, porque la combinación de una gama de especies, permite proponer diseños con un paisaje más agradable y a su vez, la posible comercialización de tales plantas ornamentales.

5. Referencias

- Belmont, M.A., Cantellano, E., Thompson, S., Williamson, M., Sánchez, A. & Metcalfe, C.D. (2004). Treatment of domestic wastewater in a pilot scale natural treatment system in central Mexico. *Ecological Engineering*, 23, 299-311.
- Berberidou, C., Kitsiou, V., LAMBROPOULOU, DA, Antoniadis, A., Ntonou, E., Zalidis, GC, y Poullos, I. (2016). Evaluación de un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales que contienen pesticidas mediante la oxidación fotocatalítica solar y humedales construidos. *Journal of Environmental Management*.
- CONAGUA de Aguas Nacionales, L. (2004). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. México.
- Galindo-Zetina, M. (2012). Emisión de gases invernadero, remoción de contaminantes y crecimiento de plantas ornamentales en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla. Puebla.
- Heers, D. I. F. M. (2006). Constructed wetlands under different geographic conditions: Evaluation of the suitability and criteria for the choice of plants including productive species (Doctoral dissertation, Hamburg University of Technology).
- Hernández M.E., Ruiz-Enzástiga P. (2010). Riparian constructed wetlands for improving water quality in a pollute driver in southeastern Mexico. XVII World congress of the international commission of Agricultural and Biosystems Engineering. Québec City, Canada.
- INEGI: Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356.
- Kamau, C. G. (2009). Constructed Wetlands: Potential for their Use in Treatment of Grey Water in Kenya.
- Kivaisi, A. K. (2001). The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological engineering*, 16(4), 545-560.
- López-Rivera, A., López-López, A., Vallejo-Rodríguez, R. & León-Becerril, E. (2015). Effect of the Organic Loading Rate in the Stillage Treatment in a Constructed Wetland with *Canna indica*. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 35 (2), 411-415.
- Luna-Pabello, V.M. & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del bosque de San Juan de Aragón. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17 (1), 32-55.
- Marín-Muñoz, J. L. (2016). Remoción De Contaminantes De Aguas Residuales Por Medio De Humedales Artificiales Establecidos En El Municipio De Actopan, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 553-563.
- Merino-Solis, M., Villegas, E., De Anda, J. & López-López, A. (2015). The effect of the hydraulic retention time on the performance of an ecological wastewater treatment system: an anaerobic filter with a constructed wetland. *Water*, 7, 1149-1163.
- Morzaria-Luna, H. N., Castillo-López, A., Danemann, G. D., & Turk-Boyer, P. (2014). Conservation strategies for coastal wetlands in the Gulf of California, Mexico. *Wetlands ecology and management*, 22(3), 267-288.
- Noam-Lior. (2016). Sustainability as the quantitative norm for water desalination impacts. *Desalination*.
- Olcina, A. G., & Gil, A. M. (1995). Planificación hidráulica en España.
- Orozco, C.E., Cruz, A.M., Rodríguez, M.A. & Pohlan, A.J. (2006). Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6, 190-196.

Plata, S., & Orlando, J. (2016). Diseño de una instalación de calefacción y ACS de un colegio de primaria mediante hibridación de energías renovables.

Rámirez-Carrillo, H.F., Luna-Pabello, V.M. & Arredondo-Figueroa, J.L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo verticalintermitente, para obtener agua de buenacalidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8 (1), 93-99.

Stottmeister, U., Wiessner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kastner, M., Bederski, O., Mueller & R.A., Moormann, H. (2005). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment, *Biotechnol. Adv.* 22: 93-117.

Wu, H., Lin, L., Zhang, J., Guo, W., Liang, S., y Liu, H. (2016). La capacidad de purificación y el flujo de dióxido de carbono de la superficie de flujo de humedales construidos de tratamiento de efluentes de plantas de depuración. *Bio-tecnología*, 219, 768-772.

Zurita, F., De Anda, J. & Belmont, M. (2006). Performance of laboratory-scale wetlands planted with tropical ornamental plants to treat domestic wastewater. *Water Quality Research Journal of Canada*, 41 (4), 410-417.

Zurita, F., De Anda, J. & Belmont, M.A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35, 861-869.

Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O. A., & Rodríguez-Sahagún, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(spe1), 139-150.

Zurtia, F., Rojas-Bravo, D., Carreón-Álvarez, A. & Gutiérrez-Lomelí, M. (2015). Desinfección de aguas residuales en tres sistemas de humedales construidos híbridos. *Interciencia*, 40 (6), 409-415.

Zurtita, F. & White, J. (2014). Comparative study of three two-stage hybrid ecological wastewater treatment systems for producing high nutrient, reclaimed water for irrigation reuse in developing countries. *Water*, 6, 213-228.

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. Gonzales, H. M. (s.f.). *Proteccion reales*.

Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Pricipios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.

6. Notas Biográficas

El **Mdrs. Luis Carlos Sandoval Herazo**. Este autor es Estudiante de Doctorado en ciencias de la Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Orizaba, en Orizaba, Veracruz, México. Terminó sus estudios de postgrado en Desarrollo Regional sustentable en El Colegio de Veracruz (COLVER), Xalapa, Veracruz, México.

El **Dr. José Luis Marín Muñiz** es Dr. en Ecología Tropical por la Universidad Veracruzana (UV), Xalapa, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor investigador en la academia de Desarrollo Regional Sustentable del El Colegio de Veracruz.

El **Dr. Alejandro Alvarado Lassmen** es Dr. en Ciencias en Alimentos con especialidad en Biotecnología Ambiental en el Instituto Tecnológico de Veracruz, en Veracruz, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor investigador en la División de Posgrados del Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, México.

El Estudiante **Raúl Castelán Cabañas** es alumno de Maestría en Pasaje Rural del el Colegio de Postgraduados, sede Córdoba.

El estudiante **Donato Ramírez López** es alumno del Instituto Tecnológico Superior de Misantla; actualmente curso el quinto semestre de Ingeniería Civil Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Aplicación de programación binaria entera: caso de estudio en una distribuidora de zapatos por catálogo

Hugo Alberto Bravo Quintero, Ing¹, Ing. José Aparicio Urbano², Dr. Gregorio Fernández Lambert³

¹ Hugo Alberto bravo quintero, Ing. Es alumno del programa postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: ville_192319@hotmail.com

² El Ing. José Aparicio Urbano, es alumno del programa de postgrado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: Mail joseapariciourbano@gmail.com

³ El Dr. Gregorio Fernández Lambert, es Profesor Investigador del área de postgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: gfernandezl@itsm.edu.mx

Resumen— El presente artículo presenta la aplicación de un modelo de programación binaria entera en una problemática de selección de proveedor para una PYME, dedicada a la venta de zapatos por catálogo, seleccionando solo un almacén de los disponibles para poder cumplir con los pedidos semanales. Por políticas de la empresa, se utilizaron ciertos criterios como el tiempo de respuesta, el costo de envío y el porcentaje de artículos que históricamente cada almacén ha provisto. Se describe un proceso metodológico de programación lineal, el cual da como resultado seleccionar el mejor proveedor de los ocho disponibles. La selección del proveedor permitió a la PYME proveerse de la mayor cantidad de mercancía al costo mínimo.

Palabras clave — *programación binaria, selección de proveedores, toma de decisión.*

Abstract— This paper presents the application of a binary programming model in a whole vendor selection problem for an PYME dedicated to selling shoes by catalog, selecting only store available to meet weekly orders. By company policy, certain criteria such as response time, the cost of shipping and the percentage of items that historically has provided each store were used. A methodological process of linear programming, which results in selecting the best provider described the eight available. Supplier selection allowed the PYME provided the largest amount of merchandise at minimum cost.

Key words – *integer binary programming, selection of suppliers, decision making.*

1. Introducción

Las primeras actividades formales de investigación de operaciones se dieron en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, al término de la guerra, las ideas formuladas en operaciones militares fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector civil, un elemento principal de la investigación de operaciones es el modelado matemático (Taha, 2004).

Las pequeñas y medianas empresas (PYME), son entidades económicas normalmente familiares muy importantes para la creación de empleo y la generación de ingresos, concentran las dos terceras partes del empleo total mundial. Su valor añadido reside en que atribuye igual importancia a los aspectos cuantitativos y cualitativos de la creación de empleo, y en que los mandantes a los que sirve pueden ser importantes vectores de difusión (Oficina Internacional del Trabajo, 2015).

Los proveedores de una empresa son aquellos que le proporcionan a ésta los recursos materiales, humanos y financieros necesarios para su operación diaria. Entre los recursos materiales se encuentran: materias primas, equipos, herramientas, refacciones, luz, agua, gas, etc.; los recursos humanos se refieren a los empleados y trabajadores que ofrecen sus servicios a cambio de una remuneración o salario; el recurso financiero es el dinero que requiere la empresa para poder operar (Barreneche Giraldo, 2010).

La asignación óptima de pedidos, es decir, el proceso de selección de proveedores, por parte de un comprador, en un entorno multiproveedor es una de las decisiones más importantes en una compañía para mantener la competitividad, especialmente en la actualidad, donde el mercado está cambiando continuamente, por eso, no es fácil tomar la decisión sobre cuál es el mejor proveedor y por ello se han desarrollado métodos que ayuden en este proceso (Moliné & Coves, 2011).

Antes de comenzar la búsqueda de proveedores se ha de tener muy claro cuál es la marca de los productos que se necesita adquirir y en qué cantidad, para que la selección se realice enfocado en ésta misma. Una vez realizado este análisis, comienza el proceso de selección en el que se pueden plantear diferentes situaciones de partida (Dávila Vélez & Ramírez Otero, 2012).

Los métodos de selección de proveedores pueden ser AHP, TOPSIS, CBR, y al ser aplicados pueden ser complicados y deben ser planteados por personal especializado. Por ello se utilizó para este caso de estudio programación lineal, ya que es más simple de utilizar (Gallego, 2011).

El modelo de Programación Lineal Entero (PLE) basado en las unidades origen-destinos resulta adecuado para modelar las empresas caracterizadas y ha permitido diseñar e implementar un procedimiento exacto para la programación de la distribución de cadena de suministro (López Barreras, Olgún Tiznado, & Camargo Wilson, 2008).

El modelo de programación lineal entero son una extensión de los modelos lineales en los que algunas variables toman valores enteros. (Saaty, 1980) Normalmente las variables enteras sólo toman valores en 0-1, ya que este tipo de variables permiten representar condiciones lógicas, es decir, en nuestro caso nos permitirá discriminar aquellos almacenes que no sean óptimas para la minimización de costos que la PYME solicita. A partir de ello, se implementó el modelo en un software de optimización (LINGO 16), también se realizaron diferentes pruebas en las cuales se fueron incrementados gradualmente el número de proveedores solicitados, para poder observar el comportamiento del modelo en diferentes escenarios (Bermúdez Colina, 2011).

La programación entera binaria es un método perteneciente a la programación lineal, por lo que su base es un algoritmo matemático que tiene como finalidad resolver un problema indeterminado formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando así una función objetivo también lineal que generalmente se refiere a costo o a tiempo, ésta se utiliza en problemas de asignación o de toma de decisiones enfocadas a hacer o no una tarea, entre sus campos de aplicación más comunes se encuentra el despacho de envíos, el diseño de redes, la elección de un sitio, el diseño de redes, la ubicación del personal y la programación de actividades (Escobar Alvarán, Garcés Hincapié, & Restrepo Correa, 2012).

2. Desarrollo

El modelo de programación binaria entera contempla en este artículo cuatro pasos, los cuales permiten un claro y ordenado desarrollo del problema. El primero paso consiste en describir el caso de estudio, el segundo paso consiste en la declaración de las variables de estudio, el tercer paso es la construcción del modelo matemático y el cuarto paso hace referencia a los resultados obtenidos.

Paso 1. Descripción del caso.

Antes de comenzar la búsqueda de proveedores se ha de tener muy claro cuál es la marca de los productos que se necesita adquirir y en qué cantidad, porque la selección se realizó enfocado en ésta misma, en este caso, la PYME es una distribuidora de ropa y zapatos por catálogo en la ciudad de Misantla, dedicada a la distribución de artículos por catálogo, ésta maneja 10 marcas diferentes de artículos, cuenta con una red de 103 vendedores(as), distribuidos(as) a lo amplio de la región y cada uno de ellos(as) manejan una cantidad independiente de marcas.

En la Tabla 1 se puede ver cada marca que la PYME maneja y la cantidad de vendedores(as) que venden cada marca, es importante aclarar que cada vendedor(a) puede vender más de una marca, sumado a que no se contempla un mínimo o un máximo de marcas que puede vender cada vendedor(a), esto provoca que el porcentaje de éstos este dividido por marcas, es decir, cada uno(a) de los(as) 103 vendedores(as) puede vender indistintamente la cantidad de marcas que prefiera, por lo tanto la cantidad y los porcentajes reflejados en la tabla 1, son independientes entre sí.

MARCA	Cantidad de vendedores(as)	% de vendedores
CKLASS	77	75%
TERRA	39	38%
ANDREA	29	28%
IMPULS	40	39%
CASTALIA	22	21%
PRICE SHOES	23	22%
INCOGNITA	16	16%
ILUSION	38	37%
DANKRIZ SHOES	8	8%
CONCORD	11	11%

Tabla 1.- Cantidad de vendedores que venden cada marca.

A partir de los datos de la Tabla 1 se sabe que el 75% de los vendedores(as) venden la marca Cklass. Por consiguiente, en este trabajo se determinó a cuál de los diferentes almacenes disponibles solicitar el pedido semanal de ésta marca, sabiendo que es en promedio de 210 artículos semanales, normalmente se realizaban pedidos a Veracruz o Puebla, por la cercanía de estos almacenes, pero solicitó saber si existen otros almacenes que minimicen sus costos considerando el porcentaje de artículos que normalmente cuenta cada almacén, a este porcentaje se le denominó factor de confiabilidad, entre otras políticas de selección de la PYME.

Seleccionar al almacén es una en una decisión en la que hay que considerar varios criterios. Uno de los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del almacén fueron los costos de envío, estos costos pueden verse en la Tabla 2, donde podemos apreciar el costo que implica enviar un artículo de cada almacén a la ciudad de Misantla.

Sucursal	Costo de envió
Veracruz	\$4.9
Monterrey	\$5.5
Jalisco	\$5.2
Querétaro	\$5.2
Tamaulipas	\$5.1
Puebla	\$5.1
Nezahualcóyotl (Edo. México)	\$5.0
Iztapalapa (Edo. México)	\$5.0

Tabla 2.- Costos de envió (en pesos Mexicanos).

El porcentaje de artículos que normalmente cuenta cada almacén se le denominó factor de confiabilidad, asegurando que el modelo le dé prioridad a los almacenes con mayor índice de confiabilidad. El factor de confiabilidad utilizado en el presente estudio está en la Ecuación 1.

$$Factor\ de\ Confiabilidad = 1 - \% \bar{a}_i \text{ Ecuación (1)}$$

Dónde:

\bar{a}_i = Promedio de artículos por almacén i .

i = Almacén (1 = Veracruz, 2 = Monterrey, 3 = Jalisco, 4 = Querétaro, 5 = Tamaulipas, 6 = Puebla, 7 = Nezahualcóyotl, 8 = Iztapalapa).

También, por política de la PYME se requiere que los almacenes seleccionados tengan un tiempo de llegada (respuesta) de cuando mucho 4 días, cada marca tiene diferentes almacenes en el interior de la republica al cual puede realizar sus pedidos, para poder cumplir con la política de respuesta, para este caso solo se seleccionaron los almacenes que su tiempo de respuesta es menos a cuatro días, el tiempo de respuesta de cada almacén se refleja en la tabla 3.

Sucursal	Tiempo de respuesta
Veracruz	2 días
Monterrey	4 días
Jalisco	3 días
Querétaro	3 días
Tamaulipas	4 días
Puebla	2 días
Nezahualcóyotl (Edo. México)	3 días
Iztapalapa (Edo. México)	3 días

Tabla 3.- Tiempo de respuesta de cada almacén.

Asimismo, cada almacén puede proveer una cantidad determinada de artículos. Mediante un histórico que tiene la PYME se sabe que en promedio se realizan pedidos de 210 artículos semanales, podemos saber el porcentaje estimado de artículos que en promedio que cuentan cada almacén, éstos se encuentran en la tabla 4.

Sucursal	Porcentaje de artículos	Cantidad de artículos
Veracruz	46.67%	98 unidades
Monterrey	72.86%	153 unidades
Jalisco	78.10%	164 unidades
Querétaro	69.05%	145 unidades
Tamaulipas	65.24%	137 unidades
Puebla	56.19%	118 unidades
Nezahualcóyotl (Edo. México)	68.10%	143 unidades
Iztapalapa (Edo. México)	68.10%	143 unidades

Tabla 4.- Cantidad de artículos abastecidos por almacén

Paso 2. Declaración de variables.

A continuación, se declaran las variables que serán utilizadas en el modelo de programación binaria entera.

Min = Minimizar

C_0 = Costo de envío

D = Demanda

x_{11} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Veracruz a Misantla.

x_{21} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Monterrey a Misantla.

x_{31} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Jalisco a Misantla.

x_{41} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Querétaro a Misantla.

x_{51} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Tamaulipas a Misantla.

x_{61} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Puebla a Misantla.

x_{71} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Nezahualcóyotl a Misantla.

x_{81} = Cantidad de zapatos enviados del almacén de Iztapalapa a Misantla.

Y_1 = almacén de Veracruz.

Y_2 = almacén de Monterrey.

Y_3 = almacén de Jalisco.

Y_4 = almacén de Querétaro.

Y_5 = almacén de Tamaulipas.

Y_6 = almacén de Puebla.

Y_7 = almacén de Nezahualcóyotl.

Y_8 = almacén de Iztapalapa.

FC_1 = Factor de Confiabilidad de Veracruz = 1-0.4667;

FC_2 = Factor de Confiabilidad de Monterrey = 1-0.7286;

FC_3 = Factor de Confiabilidad de Jalisco = 1-0.7810;

FC_4 = Factor de Confiabilidad de Querétaro = 1-0.6905;

FC_5 = Factor de Confiabilidad de Tamaulipas = 1-0.6524;

FC_6 = Factor de Confiabilidad de Puebla = 1-0.5619;

FC_7 = Factor de Confiabilidad de Nezahualcóyotl = 1-0.6810;

FC_8 = Factor de Confiabilidad de Iztapalapa = 1-0.6810;

Paso 3. Formulación del modelo matemático

$$\text{Min } X_0 = (FC_1)4.9X_{11}Y_1 + (FC_2)4.9X_{21}Y_2 + (FC_3)4.9X_{31}Y_3 + (FC_4)4.9X_{41}Y_4 + (FC_5)4.9X_{51}Y_5 + (FC_6)4.9X_{61}Y_6 + (FC_7)4.9X_{71}Y_7 + (FC_8)4.9X_{81}Y_8 \text{ Ecuación (2)}$$

Restricción de la demanda;

$$X_{11}Y_1 + X_{21}Y_2 + X_{31}Y_3 + X_{41}Y_4 + X_{51}Y_5 + X_{61}Y_6 + X_{71}Y_7 + X_{81}Y_8 = 210; \text{ Ecuación (3)}$$

Restricción de solicitar a dos almacenes;

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 = 1 \text{ Ecuación (4)}$$

3. Resultados*Paso 4. Resultados.*

Se implementó el modelo en un software de optimización (LINGO 16), para la solución óptima de este problema de selección de proveedor se utilizó programación binaria entera, en la Tabla 5 se muestran los resultados. La Tabla 5 indica que el factor de confiabilidad del almacén 1(FC_1) es 53.33%, es decir, que al solicitar por ejemplo 100 artículos al almacén ubicado en Veracruz no se estaría surtiendo 53% de estos artículos, el FC_2 nos indica que de 100 artículos solicitados al almacén de Monterrey no se surtirán 27% del total de pedido solicitado, el FC_3 nos indica que el 21.90% de artículos solicitados al almacén ubicado en Jalisco no serán surtidos, el FC_4 muestra que del pedido solicitado al almacén ubicado en Querétaro no se estaría surtiendo el 30.95%, el FC_5 indica que al realizar el pedido al almacén ubicado en Tamaulipas no se surtiría el 34.76% del total de artículos, el FC_6 muestra que de 100 artículos solicitados al almacén de Puebla no se surtirían 43 de estos, el FC_7 indica que al realizar el pedido al almacén ubicado en Nezahualcóyotl no se surtirían el 31.90% y el FC_8 muestra que al realizar un pedido de 100 artículos al almacén ubicado en Iztapalapa éste nos dejaría de surtir 31.90% de ellos.

Variable	Value
FC1	0.5333
FC2	0.2714
FC3	0.2190
FC4	0.3095
FC5	0.3476
FC6	0.4381
FC7	0.3190
FC8	0.3190
X11	0.00000
Y1	0.00000
X21	1.00000
Y2	0.00000
X31	210.0000
Y3	1.00000
X41	602.0000
Y4	0.00000
X51	54.00000
Y5	0.00000
X61	25.00000
Y6	0.00000
X71	483.0000
Y7	0.00000
X81	483.0000
Y8	0.00000

Tabla 5.- resultados en lingo 16

Sin embargo, la Tabla 5 también nos muestra la interacción de las variables X_{ij} , que son de origen a destino con la variable binaria Y_i , la cual nos permitió seleccionar solo el almacén óptimo, para poder identificar cual es el almacén que el modelo sugiere como óptimo, se busca la binaria que tomo valor de 1, es decir, la Y_i que tome valor de 1 indicara que es el almacén óptimo y por consecuencia, el resto de las Y_i tomaran valores de 0, en este caso se observa que $Y_3 = 1$, indicando que el almacén óptimo al cual realizar el pedido de los disponibles es X_{31} el cual es el almacén ubicado en Jalisco.

Además, hay variables X_{ij} que toman valores en la modelación, como por ejemplo X_{41} que toma valor de 602, pero al estar relacionada a la variable binaria Y_4 que vale 0 la interacción de ambas provoca que su valor real sea 0, por lo tanto el modelo sugiere no sea tomada en cuenta, como al resto de variables que en interacción con la variable binaria (Y_i) su valor sea 0, para el análisis de decisión, aunque para el modelo matemático si es necesario cada uno de los valores X_{ij} .

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	-1092.000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
beneficio	239.1480	1.000000
Artículos	0.000000	1.595212
11	0.000000	0.1025121

Tabla 6. Resultados en Lingo 16.

En la Tabla 6 muestra que el beneficio resultante es \$239.14, sin embargo este es el resultado de la interacción del coeficiente de confiabilidad del almacén ubicado en Jalisco (FC_3) con el costo de envío por artículos de este a la ciudad de Misantla, recordando que el factor de confiabilidad (FC_i) es el porcentaje de la cantidad de artículos que no nos surte basado en el historial de compras, ésta cantidad representa el 21.90% de artículos que no nos surte, entonces, si el almacén nos surtiera el 100% de los artículos, que en promedio es 210, su costo total sería de \$1092.00.

4. Conclusiones

Los modelos de programación binaria pueden utilizarse para obtener un abanico de soluciones, de este modo, el decisor no se siente obligado a escoger a priori, sino que puede utilizarlos como herramientas de apoyo en la toma final de decisiones. (Canós Darós, Martínez Romero, & Mocholí Arce, 2003)

En el caso de estudio presentado, el resultado del experimento generado a partir de los datos proporcionados por la PYME muestra que el modelo permite obtener el almacén óptimo al cual realizar los pedidos de forma semanal. Por consiguiente, el modelo sugiere que le solicitemos todo el pedido al almacén ubicado en Jalisco, es decir, el almacén que debe ser prioridad. Con ésta medida, se asegura contar con la mayor cantidad de pedido solicitado, ya que Jalisco es el almacén con el factor de confiabilidad más alto con el que se cuenta. También, esto minimiza los costos de envío por pedido semanal, dejándolo en \$ 852.86, por ser el costo real de adquisición de solicitar los productos ya que considera el 78.1% de los productos. Además, se cumple la política de la PYME de solicitar que el pedido llegue en cuando mucho 4 días, dejándolo en 3.

De igual manera, cabe mencionar que estos factores de tiempo de reacción y confiabilidad son vitales para la PYME, pues existe mucha competencia en la región, pero al asegurar tener la mayor cantidad de pedido posible en el menor tiempo asegura destacar ante las demás PYMES del mismo giro.

El modelo de programación binaria entera permitió evaluar a los proveedores y apoyar al pequeño empresario en sus decisiones. Como recomendación sugerida por el modelo, la PYME debería solicitar toda su mercancía al almacén que se encuentra en Jalisco, también, el modelo sugiere que como segunda opción se tenga al almacén ubicado en la ciudad de Monterrey.

5. Referencias.

- Barreneche Giraldo, D. (2010). Metodología para la selección y evaluación de proveedores. *Universidad EAFIT*.
- Bermúdez Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial*, 84-104.
- Canós Darós, M. J., Martínez Romero, M., & Mocholí Arce, M. (2003). Soluciones de compromiso en problemas de localización. *XII Jornadas de ASEPUMA*.
- Dávila Vélez, j. g., & Ramírez Otero, L. F. (2012). Modelo matemático para la optimización de una cadena de suministro global con consideraciones de cupos de compra y periodos de pago. *El hombre y la maquina*, 6-21.
- Escobar Alvarán, D. F., Garcés Hincapié, J. A., & Restrepo Correa, J. H. (2012). Aplicación de la programación entera binaria para resolver el problema simple de balanceo de línea de ensamble: un caso de estudio. *Scientia et Technica*, 85-90.
- Gallego, L. V. (2011). Revisión de los métodos, modelos y herramientas existentes para la selección de proveedores. *Linköpings Universitet*.
- López Barreras, J. A., Olgún Tizado, J. E., & Camargo Wilson, C. (2008). Modelo matemático de transporte aplicado a una compañía dedicada a la manufactura y distribución de juguetes, usando programación lineal entera. *Revista Ingeniería Industrial*, 65-72.
- Moliné, J. I., & Coves, A. (2011). Asignacion optima de pedido: revision del estado del arte desde 2007. *Enginyeria d'Organització i Logística Industrial*.
- Oficina Internacional del Trabajo. (2015). *Pequeñas y medianas empresas y creación de empleo decente y productivo*. Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo.
- Saaty, T. (1980). *the analyti hierarchy process*.
- Taha, H. (2004). *Investigación de operaciones*. México: PEARSON EDUCACIÓN.

6. Notas Biográficas

El Ing. **Hugo Alberto bravo quintero**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: ville_192319@hotmail.com

El Ing. **José Aparicio urbano**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: joseapariourbano@gmail.com

El Dr. **Gregorio Fernández Lambert**, es Profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: gfernandezl@itsm.edu.mx

Modelo de programación lineal para integrar producción, ventas e inventario en la Quesería “Los Luna”

González Ávila Edwin Arturo, Ing.¹, Ing. Jenny Besiche Barranco², M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez³,
M.I.I. Eduardo Fernández Echeverría⁴ Dr. Saúl Santiago Cruz⁵.

¹ I.I. Edwin Arturo González Ávila, estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. earturoga@hotmail.com.

² I.I. Jenny Besiche Barranco, estudiante de la Maestría en Ingeniería industrial en el instituto Tecnológico superior de Misantla, Misantla, Veracruz, jennybesicheb@outlook.es.

³ M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez, profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx.

⁴ M.I.I. Eduardo Fernández Echeverría, profesor del programa de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Zacapoaxtla, Puebla. ii_efernandez@hotmail.com

⁵ El Dr. Saúl Santiago Cruz, profesor investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ssantiagoc@itsm.edu.mx.

Resumen— Este artículo tiene como objetivo resolver un problema de dimensionamiento de lotes al menor costo posible utilizando un modelo de programación lineal aplicado a la quesería “Los Luna” perteneciente al municipio de Vega de la Torre, Veracruz. La solución óptima propuesta para este problema, consiste en determinar un tamaño de lote de producción de queso fresco y queso de hebra en 5 diferentes periodos (T semanas), de modo que los costos de producción, de mantenimiento de inventario sean minimizados y, simultáneamente, satisfacer la demanda para las ventas de quesos de la empresa. Los resultados demuestran que la mejor combinación de fabricación es de 320kg, 300kg, 271kg, 349kg, 250kg por semana para la producción de queso fresco y 115kg, 81kg, 58kg, 110kg, 75kg por semana para la producción de queso de hebra, con sus respectivos niveles de inventario, logrando un costo global de \$100,176.4.

Palabra(s) clave – Programación Lineal, Dimensionamiento de lotes, Inventario, Queso.

Abstract—This article aims to solve a problem batch sizing at the lowest possible cost using a linear programming model applied to the cheese factory "The Moon" in the municipality of Vega de la Torre, Veracruz. The optimal solution proposed for this problem, is to determine a batch size production of fresh cheese and strand in 5 different periods (T weeks), so that production costs, maintenance of inventory to be minimized and simultaneously, meet the demand for cheese sales company. The results show that the best combination of production is 320kg, 300kg, 271kg, 349kg, 250kg per week for the production of fresh cheese and 115kg, 81kg, 58kg, 110kg, 75kg per week for the production of string cheese, with its respective inventory levels, achieving an overall cost of \$ 100,176.4.

Key words – Linear programming, batch sizing, Inventory, Cheese.

1. Introducción

La alta competitividad, resultado de un creciente proceso de globalización, ha impulsado a empresas a enfocar sus esfuerzos para mantenerse al margen de las exigencias de sus clientes. Para poder competir en el mercado es necesario realizar una efectiva planificación de la producción, con la finalidad de cubrir la demanda solicitada, para lo que se emplean diferentes tipos de herramientas las cuales puedan brindar un apoyo efectivo en la toma de decisiones de esta índole.

Durante el proceso de planificación de la producción, los inventarios son un puente de conexión entre la producción y el número de ventas. Las organizaciones mantienen inventarios en sus bodegas, los cuales representan frecuentemente unos considerables costos. De acuerdo con (Baily, 1887) se mantienen inventarios por dos razones: por razones de economía y por razones de seguridad.

1.1 Aplicación del dimensionamiento de lotes con intervalos en las ventas.

El principal objetivo del dimensionamiento de lotes consiste en encontrar una política óptima de producción para satisfacer demandas fluctuantes en el tiempo, de modo de minimizar los costos de producción y las existencias de inventario, considerando la disponibilidad de recursos escasos (Wagner, 1958).

Sin embargo, las previsiones de la demanda no son siempre precisas, lo que en definitiva afecta el funcionamiento de todo el sistema de producción. Así, por ejemplo, al subestimarse la demanda pueden generarse roturas de stock que conllevan pérdidas de ventas, retrasos y, en definitiva, un mal servicio; por otro lado, sobreestimar la demanda puede llevar a tener una gran cantidad de materias primas o productos terminados en inventario.

1.2 Estudio del caso de aplicación

Se estudiará un caso sobre el dimensionamiento de lotes para la empresa productora de queso “Los Luna” ubicada en el municipio de Vega de la Torre, Veracruz. En la cual la demanda en cada periodo varía, así como también los costos reales unitarios por día para producir cada tipo de queso (1=Queso Fresco, 2= Queso de Hebra). También se tomarán en cuenta los costos por mantener en inventario cada tipo de queso y los costos por unidades no satisfechas al final de cada periodo. De esta forma se pretende determinar la cantidad de cada tipo de queso a producir en el periodo T (Semanas) y la cantidad mínima de inventario necesaria el abastecimiento efectivo de la demanda a un costo mínimo de producción, inventario y faltantes

2. Metodología

Planteamiento del Problema

Un modelo es una representación matemática simplificada de una realidad compleja, es, en definitiva, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. El desarrollo del modelo nace como una preocupación por describir la necesidad actual y muy sentida de las empresas por minimizar los costes asociados abastecimiento de las ventas, decir, el abastecimiento de la materia prima necesaria para los requerimientos solicitados, de esta forma poder reducir los inventarios, los faltantes y el correspondiente desperdicio de materiales.

Es un modelo de programación flexible aplicado a la quesería “Los Luna” tiene como objetivo minimizar los costos de producción, inventarios y unidades no satisfechas en un horizonte de producción a corto plazo para lograr satisfacer la demanda de cada tipo de queso en cada periodo.

En la quesería Los Luna, ubicada en el rancho Monte Video perteneciente al municipio de Vega de la Torre, Veracruz, se producen distintos tipos de queso, debido a que, el queso con mayor demanda es el queso fresco y el queso de hebra, se recolectaron los datos necesarios para determinar los costos de producción de estos dos productos. Adicionalmente, la consulta de información documental permitió fundamentar el estudio.

Identificación del costo real unitario de queso por día

Para la construcción de un modelo adecuado para la planeación de producción, fue necesario considerar los costos implicados en la producción de cada tipo de queso por día, no obstante, el costo unitario diario varía según la cantidad de leche abastecida en ese día.

De acuerdo a los datos proporcionados en la entrevista realizada al personal de producción, se obtuvo como referencia de medida 230 litros de leche, debido a que los contenedores utilizados para la producción tienen esa capacidad. En la Tabla 1 se muestran las proporciones necesarias y los costos de cada materia prima para la producción de queso utilizando 230 litros de leche.

Materia prima	Cantidad	Unidad de Magnitud	Costos "\$"
Leche	230	Litros (L)	1219
Cuajo	20	Millilitros (ml)	3.2
Conservador	10	Gramos (gr)	0.5
Blanqueador	5	Gramos (gr)	0.5
Sal	8	Kilogramos (Kg)	64
Costo total			1287.2

Tabla 1. Producción diaria basada en 230 litros de lera

En la **Tabla 2.** Se calcularon las proporciones adecuadas para la producción de un litro de leche y se calcularon sus respectivos costos, de manera que se obtuvo el costo total por litro de leche producido para queso fresco.

Materiales	Costo de Materiales (\$)	Cantidad/ Litro de Leche	Unidad de Magnitud	Costo\$/litro de leche
Leche	5.3	1	Litro	5.3
Cuajo	160	0.08695652174	Litro	0.0139130
Conservador	50	0.04347826087	Kilogramo	0.0021739
Blanqueador	100	0.02173913043	Kilogramo	0.0021739
Sal	8	0.03478260870	Kilogramo	0.2782609
Costo total				5.596521739

Tabla 2. Costo de Material/ Litro de Leche para queso fresco

Al igual que para la producción de queso Fresco, fueron calculados los costos de producción de queso de hebra basados en 230 litros de leche. Como se muestra en la **Tabla 3**.

Materia prima	Cantidad	Unidad de Magnitud	Costos "\$"
Leche	230	Litros (L)	1219
Cuajo	20	Mililitros (ml)	3.2
Conservador	10	Gramos(gr)	0.5
Blanqueador	5	Gramos(gr)	0.5
Sal	12	Kilogramos(Kg)	64
Costo Total			1287.2

Tabla 3. Producción diaria basada en 230 litros de lera queso de hebra

En la **Tabla 4**. Se calcularon las proporciones adecuadas para la producción de un litro de leche y se calcularon sus respectivos costos, de manera que se obtuvo el costo total por litro de leche producido para queso de hebra.

Materiales	Costo de Materiales (\$)	Cantidad/ Litro de Leche	Unidad de Magnitud	Costo/litro de leche
Leche	5.3	1	Litro	5.3
Cuajo	160	0.08695652174	Litro	0.0139130
Conservador	50	0.04347826087	Kilogramo	0.0021739
Blanqueador	100	0.02173913043	Kilogramo	0.0021739
Sal	8	0.05217391304	Kilogramo	0.4173913
Costo total				5.735652174

Tabla 4. Costo de Material/ Litro de Leche para queso de hebra

Los costos de transporten se consideraron como gastos de operación los cuales corresponden a los costos relacionados con recolección de la leche utilizada para la producción y la distribución de queso a los diferentes puntos de venta. En la **Tabla 5** se muestran el costo total de transporte, costo/litro de la gasolina y los litros de gasolina utilizados semanalmente para suministro y distribución.

Gasolina \$/litro	Suministro(L)	distribución(L)	Costo total de transporte
13.98	40	26	922.68

Tabla 5. Costo total de transporte semanal

Fue necesario realizar los costos unitarios por día de la producción de queso, ya que este cambia de acuerdo con el total de leche diario recolectado. El cálculo del costo unitario se realizó con la ecuación 1.

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costos totales de producción} + \text{Costos de operación}}{\text{Unidades totales producidas}} \quad \text{Ecuación 1: Costo Unitario}$$

Para el cálculo del costo unitario, se calculó el costo total de producción, con la **ecuación 2**. Para esta ecuación fue necesario definir los costos fijos y los costos variables, los cuales se muestran en la **Tabla 6**.

$$\text{Costo total de producción} = \text{Costos fijos} + \text{Costos variables. Ecuación 2: Costo Total de Producción}$$

Datos	Tipo de costo	Valor \$/Día
Costo Materia Prima (Hebra)	Costo Variable	5.735652174
Costos materia prima (Fresco)	Costo variable	5.596521739
Costos mano de Obra	Costo Fijo	200
Costos de transporte	Costo Fijo	131.8114286

Tabla 6. Costos fijos y costos variables de producción

En la **tabla 7 y 8** se muestran el costo unitario por día para la producción de queso fresco y queso de hebra.

	Días	Litros de leche	Kilos de Queso	Costo de producción/día	Costo Unitario/ Día
S E M A N A 1	1	400	53.33	2238.61	48.20
	2	350	46.67	1958.78	49.08
	3	367	48.89	2052.06	48.76
	4	467	62.22	2611.71	47.31
	5	413	55.11	2313.23	47.99
	6	350	46.67	1958.78	49.08
	7	383	51.11	2145.33	48.47
S E M A N A 2	8	407	54.22	2275.92	48.09
	9	327	43.56	1828.20	49.59
	10	300	40.00	1678.96	50.27
	11	347	46.22	1940.13	49.15
	12	333	44.46	1866.19	49.44
	13	327	43.57	1828.71	49.59
	14	320	42.67	1791.23	49.75
S E M A N A 3	15	313	41.78	1753.75	49.92
	16	307	40.89	1716.27	50.09
	17	300	40.00	1678.79	50.27
	18	293	39.10	1641.31	50.46
	19	287	38.21	1603.83	50.66
	20	280	37.32	1566.35	50.87
	21	273	36.42	1528.87	51.08
S E M A N A 4	22	266	35.53	1491.39	51.31
	23	333	44.44	1865.51	49.44
	24	413	55.11	2313.23	47.99
	25	246	32.85	1378.95	52.07
	26	317	42.22	1772.23	49.83
	27	327	43.56	1828.20	49.59
	28	467	62.22	2611.71	47.31
S E M A N A 5	29	287	38.22	1604.34	50.66
	30	410	54.67	2294.57	48.04
	31	400	53.33	2238.61	48.20
	32	373	49.78	2089.37	48.64
	33	467	62.22	2611.71	47.31
	34	433	57.78	2425.16	47.72
	35	280	37.33	1567.03	50.86

Tabla 7. Costo unitario de queso fresco por día

	Días	Litros de leche	Kilos de Queso	Costo de producción/día	Costo Unitario/ Día
S E M A N A 1	1	200	26.67	1147.13	55.46
	2	175	23.33	1003.74	57.24
	3	183	24.44	1051.54	56.59
	4	233	31.11	1338.32	53.68
	5	207	27.56	1185.37	55.06
	6	175	23.33	1003.74	57.24
	7	192	25.56	1099.33	56.00
S E M A N A 2	8	203	27.11	1166.25	55.26
	9	163	21.78	936.82	58.25
	10	150	20.00	860.35	59.61
	11	173	23.11	994.18	57.37
	12	167	22.23	956.29	57.94
	13	163	21.78	937.08	58.25
	14	160	21.34	917.88	58.57
S E M A N A 3	15	157	20.89	898.67	58.90
	16	153	20.44	879.47	59.25
	17	150	20.00	860.26	59.61
	18	147	19.55	841.06	59.99
	19	143	19.11	821.85	60.39
	20	140	18.66	802.64	60.80
	21	137	18.21	783.44	61.24
S E M A N A 4	22	133	17.77	764.23	61.69
	23	167	22.22	955.94	57.95
	24	207	27.56	1185.37	55.06
	25	123	16.43	706.61	63.22
	26	158	21.11	908.14	58.73
	27	163	21.78	936.82	58.25
	28	233	31.11	1338.32	53.68
S E M A N A 5	29	143	19.11	822.11	60.38
	30	205	27.33	1175.81	55.16
	31	200	26.67	1147.13	55.46
	32	187	24.89	1070.66	56.35
	33	233	31.11	1338.32	53.68
	34	217	28.89	1242.72	54.50
	35	140	18.67	802.99	60.79

Tabla 8. Costos unitarios de queso de hebra por día

1.1. Pruebas para la distribución empírica

Debido a que los costos unitarios de producción diaria de queso fresco y de hebra varían de acuerdo con los litros de leche recolectados diariamente, fue necesario realizar un intervalo de confianza para conocer los parámetros en los que se encuentra el costo unitario real de queso por día.

Se realizó una prueba de normalidad utilizando el software **R Studio**. El gráfico probabilístico normal nos permite comparar la distribución empírica de un conjunto de datos con la distribución Normal. Por tanto, dicho gráfico se puede considerar como una técnica gráfica para la prueba de normalidad de un conjunto de datos.

Imagen 1. 1 Datos ingresados en R.

RStudio

Imagen 1. 2 Gráfica Q-Q Normal costos queso fresco

Values	
X	num [1:35] 48.2 49.1 48.8 47.3 48 ...
X_DESV_ESTANDAR	1.25127780067169
X_MEDIA	49.3454285714286
Y	num [1:35] 55.5 57.2 56.6 53.7 55.1 ...
Y_DESV_ESTANDAR	2.50398740835022
Y_MEDIA	57.76

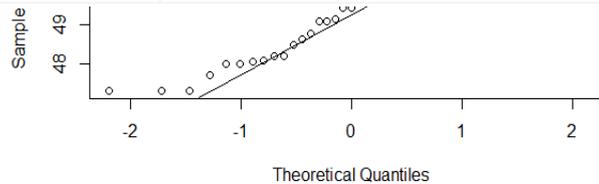
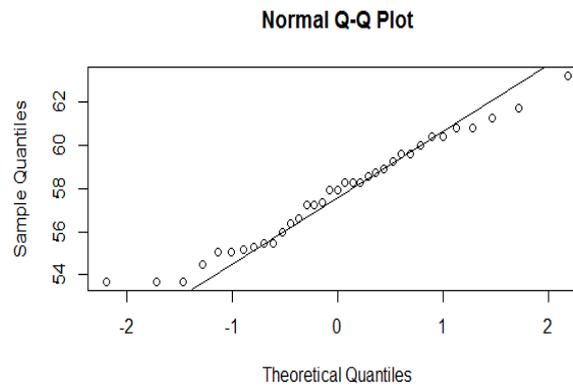


Imagen 1. 3 Gráfica Q-Q Normal costos queso de hebra.



En la **Imagen 1.2** y **1.3** se muestran las gráficas de Q-Q Normal de los costos de cada tipo de queso respectivamente, las cuales nos muestran que los datos de la muestra se comportan de manera muy aproximada a la distribución normal (Castillo, 2005). Esto también puede ser corroborado por una prueba de bondad y ajuste como lo es la prueba de Shapiro-Wilk; Es un test estadístico empleado para contrastar la normalidad de un conjunto de datos (Shapiro y Wilk, 1965). El test utiliza el contraste de hipótesis para rechazar la normalidad de la muestra. La hipótesis nula asume que la muestra proviene de una población distribuida normalmente. Si el valor-p es menor al nivel de significación establecido, se rechaza la hipótesis nula y se considera que hay evidencia para concluir que la muestra no proviene de una distribución normal.

$$H_0: \mu = \text{Distribucion normal}$$

$$H_1: \mu \neq \text{Distribucion normal}$$

A continuación, se muestra la prueba en R de normalidad Shapiro Wilk para X y Y, queso fresco y queso de hebra respectivamente.

```
> shapiro.test(Y)
data: X
w = 0.97125, p-value = 0.4786
```

```
> shapiro.test(Y)
data: Y
w = 0.97141, p-value = 0.4831
```

Dado que el valor p-valor(X)=0.4786 > α Donde $\alpha=0.05$
p-valor(Y)=0.4831 > α Donde $\alpha=0.05$

Podemos concluir que se acepta la hipótesis nula H_0 donde nos dice que el comportamiento de las muestras se comporta de manera muy aproximada a la distribución normal con un nivel de confianza del 95%.

1.2. Intervalo de confianza para la media μ de una población normal con desviación típica conocida σ

Si partimos de una población que sigue una distribución $Z \sim N(0,1)$ bastará con encontrar el punto crítico $Z_{\alpha/2}$ para tener un intervalo que contenga la media poblacional con probabilidad de $1-\alpha$ (Walpole, 1999):

$$P(-Z_{\alpha/2} < Z < Z_{\alpha/2}) = 1-\alpha$$

Si en el caso general tomamos:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Bastará con hacer unas sencillas operaciones para llegar a que el intervalo de confianza para la media μ de una población normal con desviación típica conocida σ es:

$$= \bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Para determinar el costo real unitario por producir queso fresco y queso de hebra se realizaron intervalos de confianza para determinar el intervalo en el que se desplaza el costo unitario real, esto determinara su máximo y mínimo valor que conformarán los extremos del conjunto difuso calculado probabilísticamente.

Intervalo de confianza X	
Limite Inferior	Limite Superior
48.5	50.2

El intervalo de confianza muestra que el costo unitario real de queso Fresco se encuentra entre \$56.9 y \$58.6 con una confianza del 95%.

Intervalo de confianza Y	
Limite Inferior	Limite Superior
56.9	58.6

El intervalo de confianza muestra que el costo unitario real de queso Fresco se encuentra entre \$48.50 y \$50.20 con una confianza del 95%.

Por lo tanto, el intervalo en el que se mueve el valor verdadero del costo real unitario es desde \$48.5 hasta \$50.2 para el queso fresco en cualquier temporada y para queso de hebra desde \$56.9 hasta \$58.6.

2. Modelo de dimensionamiento de lotes utilizando Programación Flexible

El modelo de programación lineal que se propone en este artículo, busca minimizar los costos asociados a la producción, nivel de inventario y costo total por unidades no satisfechas en un horizonte de tiempo, simultáneamente, satisfacer las ventas que se de cada queso en cada periodo a un costo mínimo. La notación que se definirá de aquí en adelante es la que se utilizara a lo largo de este artículo.

2.1. Definición de variables de decisión

A continuación, se definirán las variables de decisión del modelo de dimensionamiento de lotes utilizando un modelo de programación flexible en las ventas. Debido a que se busca un modelo integrador se suman todas las variables involucradas en el modelo, las cuales generan un costo. El objetivo es el cumplimiento de las ventas al menor costo posible, donde:

Índices:

$i =$ Tipo de queso a producir $i=1, \dots, I$

$t =$ Periodos en el horizonte de planeación $t= 1, \dots, T$

Variables de decisión:

$F_{it} =$ Numero de kilogramos de queso i no satisfechas en el periodo t

$X_{it} =$ Número kilogramos de queso i a producir en el periodo t .

$S_{it} =$ Número de kilogramos del queso i en inventario en el periodo t .

Coefficientes de costos:

C_{it} = Costos unitario por producir queso del tipo i en el periodo t .

K_{it} = Costos unitario por mantener en inventario el queso del tipo i en el periodo t .

E_{it} = Costos unitarios por escases de queso del tipo i en el periodo t .

Los costos C_{it} especifican el costo unario por producir cada tipo de queso en cada periodo, cualquier semana; Los costos K_{it} especifican el costo unitario por mantener cada tipo de queso de un periodo a otro, este se establece como costo fijo debido a que el costo por conservar es indistinto para cada tipo de queso; Los costos E_{it} especifican el costo que representa tener que demorar la entrega de una unidad del producto i , de un periodo al siguiente

2.2. Función Objetivo

$$\text{Min } Z(x) = \sum_i^I \sum_{t=1}^T C_{it} * X_{it} + \sum_i^I \sum_{t=1}^T K_{it} * S_{it} + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T E_{it} * Fit \quad (1)$$

La función objetivo cumple con la finalidad de minimizar todos los gastos de producción, los gastos de inventario y los costos por las unidades no satisfechas, en un horizonte de planeación en t periodos para múltiples productos, en este caso múltiples tipos de queso (OSPINA, 2008)

2.3. Planteamiento de restricciones

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T X_{it} + S_{it-1} - bit \geq bit \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$Fit = \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T X_{it} - bit + S_{it} \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T A_{it} * X_{it} \leq Lt \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T \quad (4)$$

$$Fit = 0 \quad i = 1, \dots, I \quad t = 1, \dots, T$$

$$x_{it} \geq 0 \quad S_{it} \geq 0 \quad Fit \geq 0 \quad (6)$$

2.4. Interpretación y análisis de los resultados

El problema fue modelado y desarrollado en LINGO 16.0-DEMO, se hicieron las corridas correspondientes y se obtuvieron resultados. El modelo de minimización fue desarrollado de la siguiente manera;

Model:

```
[COSTOS_TOTALES] Min=C1t*(x11+x12+x13+x14+x15)+
C2t*(x21+x22+x23+x24+x25)+
Kit*(I11+I12+I13+I14+I15+I21+I22+I23+I24+I25)+
Eit*(F11+F12+F13+F14+F15+F21+F22+F23+F24+F25);
```

! Coeficientes;

final del periodo QF;

C1t=49;

I11=I10+x11-b11;

C2t=57;

I12=I11+x12-b12;

A1t=7.5;

I13=I12+x13-b13;

A2t=8;

I14=I13+x14-b14;

Kit=0.4413;

I15=I14+x15-b15;

Eit=8;

! Restricciones para el
nivel de inventario al

! Restricciones para el
nivel de inventario al
final del periodo QH;

```

I21=I20+x21-b21;
I22=I21+x22-b22;
I23=I22+x23-b23;
I24=I23+x24-b24;
I25=I24+x25-b25;

[R_VENTASP2_SEM3] x23+I22>=b23;
[R_VENTASP1_SEM4] x14+I13>=b14;
[R_VENTASP2_SEM4] x24+I23>=b24;
[R_VENTASP1_SEM5] x15+I14>=b15;
[R_VENTASP2_SEM5] x25+I24>=b25;

! Restricciones para las
  Unidades NO satisfechas QF;
F11=x11-b11+I11;
F12=x12-b12+I12;
F13=x13-b13+I13;
F14=x14-b14+I14;
F15=x15-b15+I15;

! Restricción para nivel de
  Inventario inicial igual a 0;
I10=0;
I20=0;

! Restricciones para las
  unidades NO satisfechas QH;
F21=x21-b21+I21;
F22=x22-b22+I22;
F23=x23-b23+I23;
F24=x24-b24+I24;
F25=x25-b25+I25;

! Restricciones para las ventas
  semanales;
[R_VENTASP1_SEM1] x11+I10>=b11;
[R_VENTASP2_SEM1] x21+I20>=b21;
[R_VENTASP1_SEM2] x12+I11>=b12;
[R_VENTASP2_SEM2] x22+I21>=b22;
[R_VENTASP1_SEM3] x13+I12>=b13;

! Restricción para capacidad
  de leche semanal;
[Capacidad_LecheP1_Sem1] A1t*x11+A2t*x21<=3380;
[Capacidad_LecheP1_Sem2] A1t*x12+A2t*x22<=2900;
[Capacidad_LecheP1_Sem3] A1t*x13+A2t*x23<=2500;
[Capacidad_LecheP1_Sem4] A1t*x14+A2t*x24<=3500;
[Capacidad_LecheP1_Sem5] A1t*x15+A2t*x25<=2475;

! Intervalos para las ventas semanales de queso fresco;
@BND (320, b11,415); @BND (300, b12,400); @BND (200, b13,300); @BND (360, b14,430);
@BND (280,b15,390);
! Intervalos para las ventas semanales de queso de hebra;
@BND (110, b21,140); @BND (75, b22,100); @BND (50, b23,70); @BND (120, b24,140);
@BND (80, b25,100);

! Restricción para ventas enteras;
@GIN(b11); @GIN(b12); @GIN(b13);
@GIN(b14); @GIN(b15);
@GIN(b21); @GIN(b22); @GIN(b23);
@GIN(b24); @GIN(b25);
@GIN(x11); @GIN(x12); @GIN(x13);
@GIN(x14); @GIN(x15);
@GIN(x21); @GIN(x22); @GIN(x23);
@GIN(x24); @GIN(x25);

```

END

Solución;

```

Global optimal solution found.
Objective value:                100176.4
Objective bound:                100176.4
Infeasibilities:                0.000000
Extended solver steps:          4489
Total solver iterations:        9776
Elapsed runtime seconds:        0.93
    
```

Variable	Value	Reduced Cost	Variable	Value	Reduced Cost
C1T	49.00000	0.000000	F11	0.000000	0.000000
X11	320.0000	99.20650	F12	0.000000	0.000000
X12	300.0000	90.76520	F13	142.0000	0.000000
X13	271.0000	82.32390	F14	49.00000	0.000000
X14	349.0000	73.88260	F15	0.000000	0.000000
X15	250.0000	65.44130	F21	12.00000	0.000000
C2T	57.00000	0.000000	F22	18.00000	0.000000
X21	116.0000	107.2065	F23	28.00000	0.000000
X22	81.00000	98.76520	F24	0.000000	0.000000
X23	58.00000	90.32390	F25	0.000000	0.000000
X24	110.0000	81.88260	A1T	7.500000	0.000000
X25	75.00000	73.44130	A2T	8.000000	0.000000
KIT	0.4413000	0.000000	I10	0.000000	0.000000
I11	0.000000	0.000000	B11	320.0000	-50.20650
I12	0.000000	0.000000	---	---	-41.76520
I13	0.000000	0.000000	---	---	-33.32390
I14	0.000000	0.000000	---	---	-24.88260
I15	0.000000	0.000000	---	---	-16.44130
I21	0.000000	0.000000	---	---	0.000000
I22	0.000000	0.000000	---	---	-50.20650
I23	0.000000	0.000000	---	---	-41.76520
I24	0.000000	0.000000	---	---	-33.32390
I25	0.000000	0.000000	---	---	-24.88260
EIT	0.000000	0.000000	---	---	-16.44130

Row	Slack or Surplus	Dual Price
COSTOS TOTALES	100176.4	-1.000000
R_VENTASP1_SEM1	0.000000	0.000000
R_VENTASP2_SEM1	6.000000	0.000000
R_VENTASP1_SEM2	0.000000	0.000000
R_VENTASP2_SEM2	12.00000	0.000000
R_VENTASP1_SEM3	71.00000	0.000000
R_VENTASP2_SEM3	20.00000	0.000000
R_VENTASP1_SEM4	60.00000	0.000000
R_VENTASP2_SEM4	10.00000	0.000000
R_VENTASP1_SEM5	30.00000	0.000000
R_VENTASP2_SEM5	5.000000	0.000000
CAPACIDAD_LECHEP1_SEM1	52.00000	0.000000
CAPACIDAD_LECHEP1_SEM2	2.000000	0.000000
CAPACIDAD_LECHEP1_SEM3	3.500000	0.000000
CAPACIDAD_LECHEP1_SEM4	2.500000	0.000000
CAPACIDAD_LECHEP1_SEM5	0.000000	0.000000

Tabla 1. Resultados LINGO 16.0

3. Resultados

De acuerdo a la solución óptima puede determinarse que las dimensiones adecuadas para los lotes de producción y la cantidad de inventario necesaria para cada periodo, son como se muestra en las Tablas 1.9 y 1.10.

	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5
X1t	320	300	271	349	250
I1t	0	0	71	60	30
b1t	320	300	200	360	280

Tabla 2. Tamaño de lote e inventario en t periodo para QF

	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5
X2t	116	81	58	110	75
I2t	6	12	20	10	5
b2t	110	75	50	120	80

Tabla 3. Tamaño de lote e inventario en t periodo para QH

El valor óptimo para la función objetivo fue de; \$100176.4, que significa el mínimo costo por mantener un nivel de inventario, producir lo suficiente de cada producto y abastecer las ventas.

Para queso fresco, el modelo recomienda producir en el primer periodo $x_{11}=320$ kg, sin dejar inventario, en el periodo dos se recomienda producir $x_{12}=300$ kg, sin dejar inventario hasta el periodo tres $x_{13}=271$ donde se produce más que las ventas solicitadas y se mantiene un nivel de inventario de $I_{13}=71$ kg, para la semana 4 solo se deben producir $x_{14}=349$ kg y se completan las ventas con 11 kg de queso del inventario pasado, de esta

manera se mantiene un inventario de $I_{14}=60$, en la quinta semana se recomienda producir $x_{15}=250$ kg y completar las ventas con 30 kg tomados del inventario del periodo anterior, con un nivel de inventario para ese periodo de $I_{15}=30$ kg.

Para el queso de hebra, el modelo recomienda producir en el primer periodo $x_{21}=115$ kg dejando un inventario de $I_{21}=5$ kg, en el periodo dos se recomienda producir $x_{22}=81$ kg con un inventario de $I_{22}=12$ kg, en el periodo tres se deben producir $x_{23}=58$ kg, es decir, 8 kg por arriba de las ventas estimadas para ese periodo, por lo tanto el nivel de inventario $I_{23}=20$, para la semana 4 solo se deben producir $x_{24}=110$ kg, es decir 10 kg menos que las ventas estimadas, las cuales serán completadas con el inventario del periodo anterior, el inventario para este periodo debe de ser $I_{24}=10$ kg, en la quinta semana se recomienda producir $x_{25}=75$ kg y completar las ventas con 5 kg tomados del inventario anterior, dejando un inventario para la quinta semana de $I_{25}=5$ kg.

4. Conclusión

El modelo de programación lineal permite la simulación de diferentes escenarios en los cuales los resultados varían en función de los distintos parámetros que restringen al modelo, es decir la capacidad de leche por periodo, o las ventas necesarias abastecer, así como los costos unitarios por mantener en inventario, producir y por unidades no satisfechas en cada periodo. La estimación del tamaño de lote a producir en cada periodo por medio de esta técnica permite tener un control más amplio y preciso de la producción en cuestión de cuanto y cuando debe producirse considerando un nivel de inventario, recursos disponibles y una demanda a abastecer.

La practicidad de esta técnica ha permitido de manera simple resolver un problema de decisión con el propósito de reconocer los productos más importantes lucrativamente que deberían ser fabricados. En conclusión, se recomienda que para la última semana se debe producir un lote de 220 kg, de esta forma se aprovecha todo el inventario acumulado hasta el cuarto periodo. También para la producción de queso de hebra en el último periodo se recomienda producir un lote de solo 70 kg para aprovechar todo el inventario acumulado.

Se extiende un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo de la beca académica para realizar los estudios de la maestría en Ingeniería Industrial cursada en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, otorgado a Edwin Arturo González Ávila, y Jenny Besiche Barranco, autores de esta investigación.

5. Referencias

- Baily, P. J. (1887). *Purchasing and Supply Management*. Springer-Science Bussines Media R.V.
- Castillo, Q.-Q. P. (2005). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. *Departamento de Estadística e Investigación Operativa*, 18-22.
- OSPINA, L. M. (2008). Modelo de Programación para Integrar Producción, Inventario Y. *Scientia et Technica Año XIV, No 40*, 102-103.
- Wagner, H. M. (1958). "Dynamic Version of the Economic Lot Size. *Management Science*, 9, 1, 89-96.
- Walpole, M. &. (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros. 6ª. Edición. Prentice may. México. 6ª. Edición. Prentice may. México.

6. Notas Biográficas

El **Ing. Edwin Arturo González Ávila**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, y es alumno del Posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

La **Ing. Jenny Besiche Barranco**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, y es alumno del Posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MII. Gabriel Grosskelwing Núñez** es Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MII. Eduardo Fernández Echeverría**, es Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, que actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo dentro del Programa de Ingeniería Industrial del ITS de Zacapoaxtla.

El **Dr. Saúl Santiago Cruz**, Doctor en Medio Ambiente por la Universidad del Noreste Tampico y actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Clasificación de café mediante lógica difusa.

Jazmín Alejandra Segovia Cano Ing.¹, M.C. Sandra Guadalupe García Aburto²,
MIA. Roberto Ángel Meléndez Armenta³, MII. Margarito Landa Zarate⁴.

¹La Ing. Jazmín Alejandra Segovia Cano es estudiante del posgrado de maestría en ingeniería industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, Ale.Segovia@live.com.mx.

²La MC. Sandra Guadalupe García Aburto, es Docente del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla Veracruz. ssgarciaa@itsm.edu.mx

³ El MIA. Roberto Ángel Meléndez Armenta, es Docente del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla Veracruz. ramelendeza@itsm.edu.mx

⁴ El maestro Margarito Landa Zarate, coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. mlandaz@itsm.edu.mx

Resumen - El presente artículo muestra el proceso para el desarrollo de un modelo difuso que se utiliza para la clasificación de café en la región de Misantla Veracruz, el cual está sustentado por un sistema basado en conocimiento en donde se modela la experticie del catador de café para determinar la calidad del producto final tomando en cuenta su lugar de origen y el proceso que influye en él para su transformación en un producto comercial. La clasificación del café depende de la calidad que este adopte al final de su proceso, con base a ella y mediante el modelo difuso se determina hacia que tipo de cliente puede dirigirse el café con la finalidad de posicionar el producto en un mejor mercado y con ello ampliar la comercialización del mismo.

Palabras clave - Lógica difusa, clasificación de café, comercialización, sistema basado en conocimiento.

Abstract - The present article shows the process for the development of a diffuse model who is in use for the classification of coffee in Misantla Veracruz's región, which is sustained by a system based on knowledge where there is to model the experticie of the taster of coffee to determine the quality of the product end bearing in mind his place of origin and process that influences him for his transformation a commercial product. The diffuse model helps in the capture of decision to determine it was doing that type of market can direct the coffee of agreement for him the final characteristics that this one obtains with the purpose of extending the commercialization of the same one.

Key words- *fuzzy logic, Classification of coffee, commercialization, Knowledge-based of system.*

1.- Introducción.

México ocupa el séptimo lugar mundial como productor de café, aun cuando en la década de los noventa este producto perdió peso en las exportaciones mexicanas, sigue siendo una de las fuentes de divisas agrícolas importantes (García, et al., 2006). Este producto aporta el 4% de la producción mundial, con una superficie sembrada de más de 806 000 hectáreas, de las cuales 83% son cultivadas por pequeños productores campesinos.

A partir de 1989, las negociaciones internacionales y la comercialización quedan exclusivamente en manos de transnacionales, que toman las decisiones sobre el precio del café con base a sus intereses y sin considerar las necesidades de los pequeños cafeticultores campesinos que eran representados por los institutos nacionales de café. A lo anterior se suma la entrada de México en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), a partir del cual el país se abre a los mercados internaciones e inicia la desregulación de los precios, con graves consecuencias para los pequeños cafeticultores, que estaban empobrecidos, desarticulados, con cartera vencida y cafetales deteriorados, imposibilitados para incrementar su productividad y calidad y, por tanto, con nula capacidad para competir en el mercado internacional (Martínez (1995).

Debido a la pérdida de calidad y la incompetencia en mercados internaciones, los cafeticultores deciden cambiar de actividad económica e inician a transformar sus cultivos en pastizales para renta de la ganadería, pocos fueron los que siguieron en la cultivación de café, actualmente en la región de Misantla Veracruz se pretende reactivar la cafecultura, para ello es necesario hacer un análisis con la ayuda de un experto, sobre las características organolépticas y físicas que adquiere el café después de ser procesado para poder determinar la calidad del mismo y con base a ello posicionar el producto en un mejor mercado.

El desarrollo de esta investigación tiene el propósito de construir un modelo difuso que ayude a la toma de decisiones en cuanto a la comercialización del café en la región de Misantla, Veracruz y mejorar el

posicionamiento en el mercado del mismo, es por eso que el modelo basado en conocimiento tiene como objetivo principal hacer una clasificación del café para determinar hacia que tipo de cliente será dirigido obteniendo un precio justo.

Cabe mencionar que para que el desarrollo de éste modelo pueda ser posible, se necesita de la expertise del catador, pues es él quien conoce el proceso y comportamiento del café durante su proceso de transformación, mediante el experto se tiene la adquisición del conocimiento que es el primer elemento para emprender el desarrollo del sistema basado en conocimiento.

Los sistemas basados en conocimientos se orientan en el análisis de problemas, la búsqueda de soluciones, la toma de decisiones y el empleo de conocimiento especializado en un campo específico de aplicación. Debido a que las variables con las que se van a trabajar son de tipo cualitativo se utiliza la lógica difusa para atender la problemática presentada.

Es necesario saber que la lógica difusa produce resultados exactos a partir de datos imprecisos. El adjetivo “difuso” se debe a que los valores de verdad utilizados en esta, generalmente tienen una connotación de incertidumbre, así lo difuso puede entenderse como la posibilidad de asignar diferentes valores de verdad a los enunciados y no solamente los clásicos “falso” o “verdadero”. Así como también cuando se requiera utilizar el conocimiento de un experto el cual utilizará conceptos ambiguos e imprecisos. (Lavoignet, 2014).

El sistema basado en conocimiento mediante la lógica difusa, concentra la información del experto y con base a ello se determina la clasificación del café, la cual se hará de acuerdo a las exigencias del cliente para que con ello se puedan satisfacer dichas necesidades y así mismo se logrará ampliar el mercado, por lo que se obtendrá un mayor beneficio económico, tanto para el micro empresario como para los cafeticultores, puesto que se llegará a un precio justo para ambas partes.

2.- Desarrollo.

El desarrollo de esta investigación centra su estudio en la agroindustria, específicamente en el producto del café de la región de Misantla Veracruz, la cual es de tipo exploratoria basada en la recolección de información del experto en el área de la caficultura con el propósito de construir la base de conocimiento que alimenta el motor de inferencia del modelo difuso al igual que las Normas Mexicanas de café verde para Veracruz.

Los sistemas basados en conocimientos se orientan en el análisis de problemas, la búsqueda de soluciones, la toma de decisiones y el empleo de conocimiento especializado en un campo específico de aplicación.

Chow, 1997 indica que la lógica difusa tiene dos componentes principales: Las funciones de membresía y las reglas difusas. Usando estos componentes es posible trasladar las experiencias y preferencias humanas desde una descripción cualitativa a una descripción cuantitativa. Las reglas difusas se construyen a partir de la opinión del experto, a este tipo de información se le conoce como variables lingüísticas.

Se denomina variable lingüística a aquella que puede tomar por valores términos del lenguaje natural, como mucho, poco, positivo, negativo, etc., que son las palabras que desempeñan el papel de etiquetas, para este caso en específico el experto determinó tres variables lingüísticas que influyen en la calidad del café: altura, tipo de tueste y tipo de molido, como resultado se obtiene la variable de control, la cual de acuerdo a los valores y características que esta tome se determina la clasificación del café, ya sea que pertenezca a: café gourmet, prima lavado o en su defecto al café caracol.

Actualmente existen normas para la clasificación de café de acuerdo a sus atributos, por lo que es necesario contar con esta información para tener un parámetro de comparación, dichas normas deberán ser agregadas a la base de conocimiento.

Los valores asignados para la altura en el modelo difuso se fundamentan de acuerdo al padrón nacional, la colorimetría del tipo de tueste está estructurada con base a los discos AGTRON (SCCA) y por último el tipo de molido se sustenta por la malla de Tyler.

Para el desarrollo del modelo difuso se emplea el motor de inferencia tipo Mamdani en el cual normalmente se utiliza un valor numérico y para que este valor pueda ser procesado por el sistema difuso se hace necesario convertirlo a un “lenguaje” que el motor de inferencia pueda interpretar, a dicho proceso se le conoce como fuzzificación, posteriormente a esto se inicia la (desfuzzificación) que es la acción de tomar valores numéricos provenientes del exterior y convertir en valores “difusos”, se le llama valores difusos a los grados de pertenencia que adquieren cada una de las variables de entrada dentro de los diferentes conjuntos en los cuales se ha dividido el universo de discurso.

El mecanismo de inferencia difusa realiza la interpretación matemática de las reglas lingüísticas, estas son necesarias para la base de reglas o base de conocimiento que es el conjunto de reglas donde se recopila el conocimiento que el experto tiene que permite resolver el problema para el cual ha sido diseñado.

3. Resultados.

Modelo difuso.

Este modelo se desarrolla con la finalidad de clasificar el café en Misantla de acuerdo a las características que este adopta al final de su proceso de transformación y con ello obtener éxito en la comercialización del producto para ampliar el mercado del café en la región y con ello reactivar la cafeticultura y por ende aumentar el ingreso económico de los pequeños productores.

La inferencia difusa es el método de obtener conjuntos difusos a partir de la combinación de otros conjuntos difusos con reglas de la forma “Si <condición>”, “entonces<acción>”, es lo que se denomina “Inferencia Difusa”.

En el motor de inferencia tipo Mamdani un experto especifica su conocimiento en forma de reglas lingüísticas las cuales han de definir las etiquetas lingüísticas que van a describir los estados de las variables.

A continuación se presenta el modelo difuso que será empleado para determinar la clasificación del café en la región de Misantla Veracruz.

La siguiente tabla presenta la declaración de las variables consideradas en el modelo (Ver Tabla 1).

Declaración de variables de entrada.

VARIABLES	DEFINICIÓN LINGÜÍSTICA	UNIDAD DE MEDIDA	VARIABLE DE ENTRADA (E).
A	Alta.	Metros Sobre el nivel del Mar.	E
M	Media.	Metros Sobre el nivel del Mar.	E
B	Baja.	Metros Sobre el nivel del Mar.	E
O	Oscuro.	35-45 Colorimetría.	E
MA	Medio Alto.	40-50 Colorimetría.	E
M	Medio.	45-55 Colorimetría.	E
ML	Medio Ligero.	50-60 Colorimetría.	E
L	Ligero.	55-65 Colorimetría.	E
G	Grueso.	12 Milímetros.	E
M	Medio.	25 Milímetros	E
L	Ligero.	40 Milímetros	E

Tabla 1.- Declaración y ponderación de variables.

Una vez definidas las variables y ponderadas se obtienen los siguientes conjuntos difuso.

La altura es un factor determinante de la calidad del café, ya que a mayor altura la maduración del fruto es lenta y el grano desarrolla todas sus propiedades organolépticas, se considera que la altura ideal se encuentra entre 950 y 1900 msnm, sin embargo una altura significa climas más fríos. Los cuales son nocivos para el cafeto. (Ver figura 1).

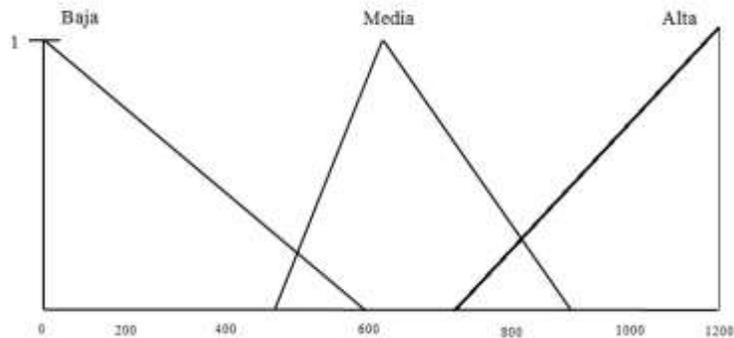


Figura 1.- Conjuntos difusos de altura.

El tueste desarrolla todas aquellas propiedades químicas que posee el fruto, entre más oscuro sea el tueste, más oportunidades pierde el café y como resultado se tiene un café amargo y pierde acidez, de acuerdo a la información extraída del experto se determina que el tueste medio es el punto exacto y preferible del café puesto que ha desarrollado todas sus propiedades y su aroma es más destacado, por otra parte el tueste ligero no permite que se desarrollen todas las propiedades por lo que no tiene buen aroma, su sabor es ácido y contiene más cafeína. (Ver figura 2).

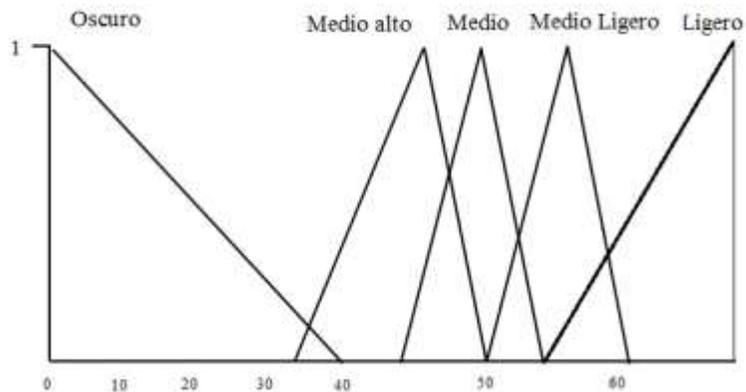


Figura 2.- Conjuntos difusos de tueste.

El molido al igual que las variables anteriores es un elemento de suma importancia para el proceso del café, ya que de este dependerá la calidad, consistencia y sabor del mismo, debido a que extraerá los sabores precisos al realizar la infusión, el molido ligero genera un café más amargo y con menos aroma, por lo contrario el molido medio genera la mayor calidad del café y se caracteriza por desarrollar más cuerpo, mientras que el molido grueso puede producir un café insípido y acuoso, ya que no desprende todo el sabor y la consistencia. (Ver figura 3).

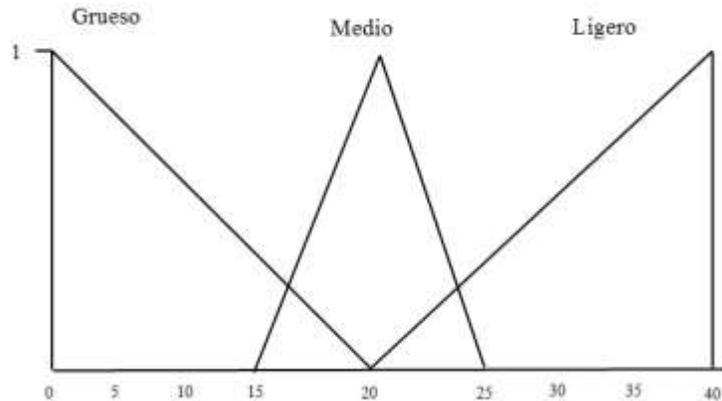


Figura 3.- Conjuntos difusos para molido.

En un sistema Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas. La salida que genera el mecanismo de inferencia es una salida difusa, lo cual significa que no puede ser interpretada por un elemento externo que sólo manipule información numérica. Para lograr que la salida del sistema difuso pueda ser interpretada por elementos que solo proceden información numérica, debe convertir la salida difusa del mecanismo de inferencia a valores concretos, mediante los métodos matemáticos de desfuzzificación. Este proceso lo realiza el fuzzificador. Para generar la salida numérica a partir de estos conjuntos, comúnmente se opta por el centro de gravedad, o los centros promediados. (Ver figura 4).

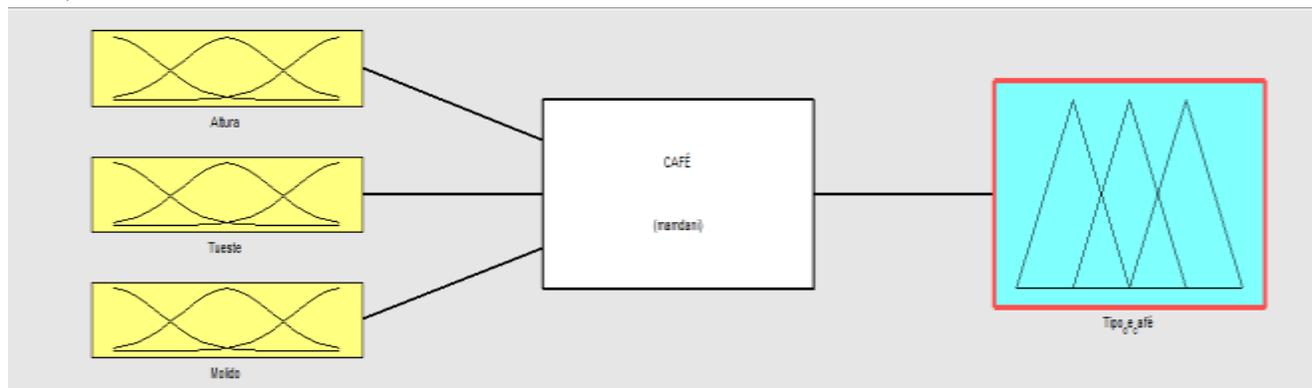


Figura4.- Estructura del modelo difuso con variables de entrada y salida.

Para definir la nueva base de reglas difusas, deben ser consideradas todas las combinaciones entre las variables lingüísticas de entrada, la consecuencia de cada combinación debe estar en función a un conjunto difuso de la variable de salida. Posteriormente se debe probar la validez de la nueva base de reglas. En este modelo difuso se generaron 45 reglas difusas, a continuación se muestran unos ejemplos de ellas.

1. If (Altura is Alto) and (Tueste is Oscuro) and (Molido is Grueso) then (Tipo_de_café is Caracol) (1)
2. If (Altura is Alto) and (Tueste is Medio_alto) and (Molido is Grueso) then (Tipo_de_café is Prima_lavado) (1)
3. If (Altura is Alto) and (Tueste is Medio_ligero) and (Molido is Grueso) then (Tipo_de_café is Prima_lavado) (1)

4. Conclusiones.

La construcción del modelo difuso tiene como función clasificar el café de acuerdo a las características que presenta el fruto y el tipo de proceso de transformación que se le dé para obtener un producto comercial, con ello se puede determinar el tipo de mercado al que será dirigido con la finalidad de ampliar la comercialización de la región de Misantla Veracruz, por ello se toman en cuenta todas aquellas características que influyen en la calidad del café con el sustento de un experto o catador y las Normas Mexicanas para la clasificación del café Veracruzano, una vez identificadas las áreas de oportunidad, se procede al posicionamiento del café en un mejor mercado.

5. Referencias.

Lavoignet Ruíz, Marieli (2014) “Sistema experto para la selección de personal de la exportadora San Gabriel, S. A. de C. V.”, Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla Veracruz.

Ponce Cruz, Pedro (2010) Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. México. Primera edición: Alfa-omega grupo editor.

Chow, M-Y (1997), Methodologies of using neural network and fuzzy logic thecnologies for motor incipient fault detection. Wordl Scientific Publishiing Company.

NMX-F-013-2000. Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado. Especificaciones y métodos de prueba.

Martínez Quesada, Álvaro (1995) Crisis del café y estrategias campesinas, Texcoco, México, Universidad Autónoma de Chapingo.

García Sierra Bromio et al., (2006) “Factores que limitan la certificación de café orgánico en el esquema de comercio justo en cinco organizaciones de México “Revista Mexicana del Caribe, vol. X, Núm. 19, pp2005-226.

6. Notas biográficas.

La **Ing. Jazmín Alejandra Segovia Cano**, en ingeniera industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla y actualmente es estudiante del posgrado de maestría en ingeniería industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

La **MC. Sandra Guadalupe García Aburto** es Maestra en Ciencias de la Ingeniería Administrativa por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Actualmente se desempeña como profesora investigadora de tiempo completo adscrito al área de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MIA. Roberto Ángel Meléndez Armenta** es Maestro en Inteligencia Artificial por la UV, Xalapa, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **MI. 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.

Medición de la satisfacción del cliente con Likert-difuso

Ana Roselyn Pérez Méndez, Ing.¹, Ing. José de Jesús Mendoza Osorio², Ing. Franti Núñez Álvarez³,
Lic. Carlos Rafael Becerra Simón⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵

¹ Ing. Ana Roselyn Pérez Méndez es alumna de posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial y Profesor de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. arperezm@itsm.edu.mx.

² Ing. José de Jesús Mendoza Osorio es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz y profesor en la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Veracruz. 152t0719@itsm.edu.mx.

³ Ing. Franti Núñez Álvarez es alumno de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. nuaf_7@hotmail.com.

⁴ Lic. Carlos Rafael Becerra Simón es alumno de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. carlos.186@live.com.mx.

⁵ Dr. Saúl Santiago Cruz es profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz. ssantiagooc@itsm.edu.mx.

Resumen—Existen varios métodos que permiten capturar la voz del cliente y a su vez medir de la satisfacción del mismo, a través de encuestas y análisis estadístico, estos son hasta cierto punto subjetivos o imprecisos porque dependen directamente de la percepción del cliente. Es por ese motivo que en esta investigación se propone la medición de la satisfacción del cliente utilizando el concepto de lógica difusa, a través de la escala de Likert. El resultado obtenido en la presente investigación respecto a la medición de la satisfacción del cliente es tomado como muestra y relacionado a los resultados de la encuesta evaluada en un hotel de la ciudad de Misantla, Veracruz. El modelo de lógica difusa nos permitió obtener el nivel de satisfacción de tres, para una escala del uno al cinco, determinando a este hotel como igual a los otros hoteles que el cliente ha visitado. En ese sentido es importante tomar acciones preventivas/correctivas que permitan distinguir a este servicio que sobrepase las expectativas del cliente y brindar un apoyo en la toma de decisiones en el ámbito de las exigentes cambiantes de la medición de la satisfacción final.

Palabras clave—Satisfacción del cliente, lógica difusa, escala de Likert.

Abstract— There are several methods that capture the customer's voice and simultaneously measure their satisfaction through surveys and statistical analysis; these are to some extent subjective or imprecise because they depend directly on customer perception. It is for this reason that in this investigation measuring customer satisfaction is proposed using the concept of fuzzy logic, through likerts scale. The result obtained in this investigation regarding the measurement of customer satisfaction is sampled and related to the results of the survey assessed in a hotel in the city of Veracruz Misantla. The fuzzy logic model allowed us on a scale from 1 to 5 a satisfaction level three, determining this as equal to the other hotels that the client has visited. In this regard it is important to take preventive / corrective actions that distinguish the hotel services to exceed customer expectations and provide support decision making in the field of the demands of the company.

Key boards— Customer satisfaction, fuzzy logic, Likert scale.

1. Introducción

Medir la satisfacción del cliente en un hotel puede ser una actividad compleja debido a los múltiples factores involucrados. La calidad es quizás el término más difícil de definir y ha sido interpretada de múltiples formas, para Joseph Juran, la calidad representa “aquellas características que responden a las necesidades del cliente y la ausencia de deficiencias” (Munro Faure, 1994). Para W. E. Deming, “el cliente es quien define la calidad final del producto y debe ser establecida para satisfacer sus necesidades y expectativas” (Munro Faure, 1994), por tanto “la calidad se define en términos de quien la valora”. A. Donabedian integra en enfoque de estructura, proceso y resultado e interpreta la calidad como “una adecuación precisa de la atención a las necesidades particulares de cada caso” (Donabedian, 1988).

La satisfacción del cliente externo, que es aquel que paga por el servicio, se expresa usando un juicio de valor individual y subjetivo se expresa de manera multidimensional. La encuesta SERVQUAL diseñada por Parasuraman, Zeithaml y Berry, ayuda a evaluar la satisfacción de los clientes, pero hasta cierto punto resulta inapropiado para evaluar a los clientes de un hotel. Otra manera es a través del formato tipo Likert, el cual permite a los clientes responder en grados variables a cada elemento, pero sigue de la misma manera siendo subjetivo.

La lógica difusa (LD) proporciona un medio para enfrentar situaciones reales, complejas y dinámicas, utilizándola para la resolución y comprensión de datos, por lo que se convierte en una herramienta para medir la satisfacción del cliente de este hotel. Este artículo presenta la utilidad de la lógica difusa adaptada a una encuesta tipo Likert para medir la satisfacción del cliente de un hotel de la región de Misantla.

2. Desarrollo

Descripción del Método

En esta investigación se profundizará sobre la medición de la satisfacción del cliente. Es conveniente esclarecer, los conceptos que serán tratados en este artículo, Satisfacción del cliente: Estado del cliente tras un juicio comparativo de los resultados de los atributos (Boss,2003 y Evrard, 2003; Noda, 2004; Pérez, 2006). Su idea central alude a la calidad en la realización del servicio y su adaptación a las necesidades y expectativas del consumidor. La lógica difusa, o fuzzy logic, es básicamente una lógica multivariada que permite valores intermedios para definir una forma en la que expresiones convencionales, como "más bien caliente" o "poco frío" pueden ser planteadas matemáticamente. En su propia concepción trabaja con elementos de lógica clásica, estadística, probabilidades y teoría de conjuntos. De esta manera, se pretende aplicar una forma más humana de pensar en la modelación matemática. La lógica borrosa se inició en 1965 por (Zadeh, 1965), profesor de ciencia de computadoras en la Universidad de California en Berkeley. Desde la época de los grandes filósofos griegos, se ha venido cuestionando la efectividad de la dicotomía cierto-falso, pensadores posteriores también formularon sus conceptos mucho antes que Lotfi A. Zadeh definiera los conjuntos difusos y moldeara luego la teoría de la lógica difusa. Considerando estos antecedentes se propone recurrir a la Teoría de los Conjuntos Difusos. Como alternativa al uso de valores concretos para cuantificar el desempeño, se sugiere utilizar números difusos (Cuevas Rodríguez, 2005; Kanzaki Cabrera, 2006). Los sistemas difusos parten de asociar a un número real (crisp) a un subconjunto difuso, proceso denominado como fuzificación; para luego operar con el aplicándole un conjunto de reglas lógica y llegar a una conclusión difusa sobre la que se realizara el proceso inverso, conocido como desfuzificación (convertir un subconjunto difuso en un valor real (crisp), mientras la Figura 1 establece los pasos a seguir para el desarrollo del método).

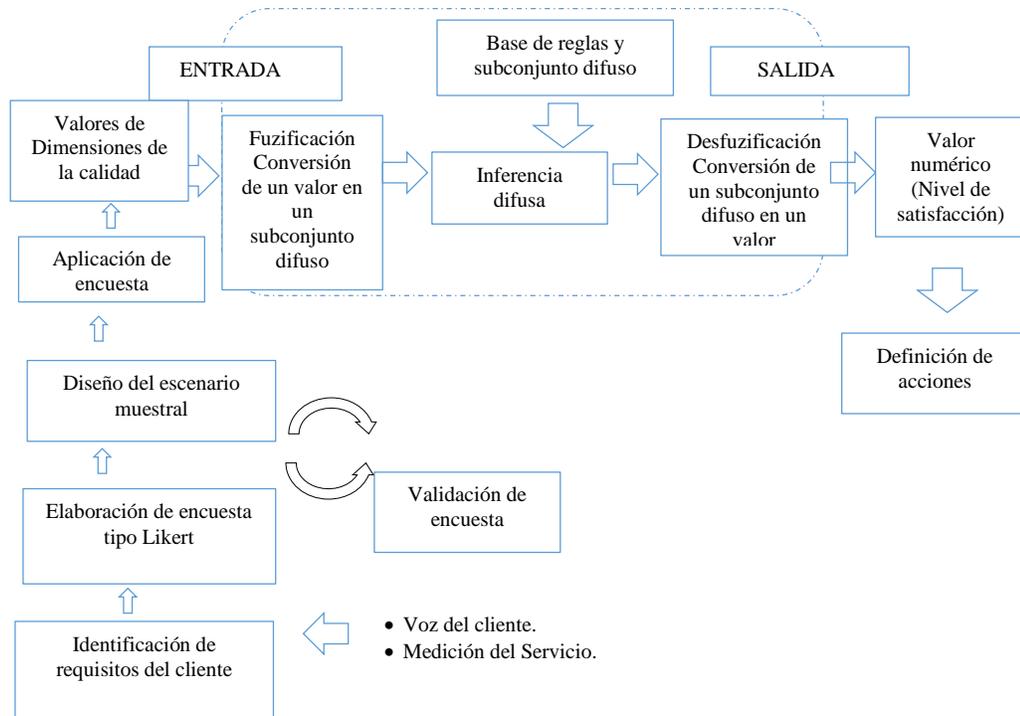


Figura 1. Metodología para la evaluación del Nivel de Satisfacción apoyada con Likert-Difuso.

Siguiendo esta metodología propuesta se definieron los criterios/requisitos de los clientes relacionados con el servicio esperado para el Gran Hotel. Los atributos pueden apreciarse en el Cuadro 1, los cuales han sido clasificados de acuerdo a cuatro Dimensiones de Servicio.

VARIABLE	DIMENSIONES DE SERVICIO	ATRIBUTOS	DESEMPEÑO
NIVEL DE SATISFACCIÓN DEL SERVICIO AL CLIENTE	RECEPCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Cortesía • Información • Rapidez • Cortesía de servicio telefónico 	
	RECREACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de la piscina 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy malo • Malo • Regular • Bueno • Muy bueno
	SERVICIOS GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de áreas libres • Sensación de seguridad • Respeto por los objetos personales • Servicios de mantenimiento 	
	ALOJAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de las habitaciones • Confort de las habitaciones 	

Cuadro 1. Dimensiones y requerimientos del cliente.

Posteriormente se integró un cuestionario en el que se mide el desempeño y la importancia de esos requerimientos usando la escala de Likert a cinco niveles, con la siguiente ponderación, Muy Malo (1); Malo (2); Regular (3); Bueno (4) y Muy Bueno (5). Basado con la demanda de clientes que se tienen durante un mes en este hotel, se determinó el tamaño de muestra considerando que se estimaría una proporción, con un error relativo de muestreo de 0.09 y un coeficiente de confianza de 95%. Se estimó el valor de $p=0.65$, proporción de casos favorables y $q=0.35$ desfavorables, por medio de una muestra piloto. La variable de interés seleccionada para efectos de cálculo muestral fue la primera del cuestionario, relacionada con el servicio administrativo, siendo $n=48$ observaciones. La Ecuación [1] expresa el cálculo del tamaño de la muestra:

$$n = \frac{NQZ_{\alpha/2}^2}{P(N-1)e^2 + Z_{\alpha/2}^2 Q} \text{ Ecuación [1]}$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ es el percentil $(1-\alpha/2)$, de la variable aleatoria estándar, esto es: $Z_{\alpha/2} = Z_{0.025} = 1.96$
 $n = 48$, La muestra a ser investigada es de tamaño

Considerando este tamaño de muestra se procede a medir la confiabilidad del instrumento de medición de satisfacción diseñado y se realiza a través del Alfa de Cronbach, que es el indicador más utilizado para cuantificar la consistencia interna del instrumento de medición, obteniendo un Alfa de 0.8, este valor manifiesta la consistencia interna, es decir muestra la correlación entre cada una de las preguntas. Revelando una fuerte relación entre las preguntas.

3. Resultados

Analizando los datos obtenidos con relación con el cliente se puede resumir en la Figura 2, la cual presenta el resultado de la encuesta en función de los atributos, mientras que en la Figura 3 se muestra en función de las dimensiones.



Figura 2. Resultado de encuesta de servicios.



Figura 3. Resultado de encuesta de servicios global.

El resultado de la medición global del servicio resalta que el criterio de Recreación es el servicio que demuestra un Desempeño de 4/5, sin embargo, la importancia para el cliente es "igual que en otros hoteles".

Para evaluar el Nivel de Satisfacción Global, usamos el Modelo Difuso, el cual se alimenta con cuatro variables relacionadas con las Dimensiones de Servicio: Recepción, Recreación, Servicios Generales, y Mantenimiento. A partir del cual se establecen las siguientes variables y/o entradas al modelo difuso. Definición del conjunto $X = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$ de criterios a considerar:

En este estudio se define:

- X1=** Recepción.
- X2=** Recreación.
- X3=** Servicios Generales.
- X4=** Mantenimiento.

Variable de Salida: **Nivel de SATISFACCIÓN**

Las etiquetas lingüísticas que definen a los conjuntos difusos, y que a su vez miden el “Nivel de Satisfacción”, son: *Deficiente*, *Igual que los demás*, *Excelente*. La Figura 4 muestra que cada uno de estos conjuntos difusos, corresponden a una forma triangular, evaluados en una escala del 1 al 5.

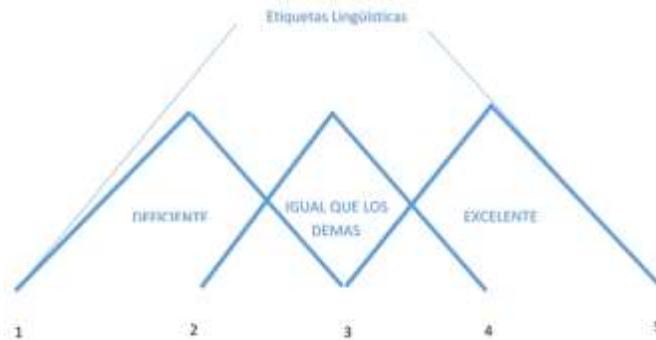


Figura 4. Etiquetas lingüísticas.

EL modelo difuso utiliza el ambiente MATLAB DEMO 7.10.0.499 (Matrix Laboratory), el cual en el motor de inferencia Mamdani, con 87 reglas de operación, de la forma IF-THEM. La Figura 5 ilustra el ambiente del sistema en dicho programa, el cual describe cuatro variables de entrada, y una variable de salida.

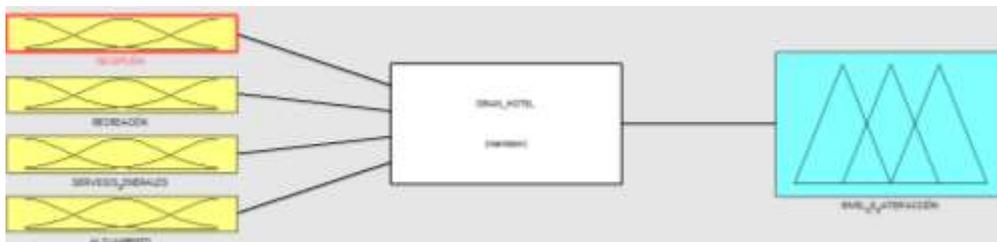


Figura 5 Modelo de lógica difusa.

La Figura 6 presenta el resultado del ingreso de los valores de la dimensión de servicio, con resultado de un nivel de satisfacción de 3 de 5. El nivel de satisfacción y las acciones a tomar pueden clasificarse como acciones correctivas y/o acciones preventivas; valor menor de 3 como acciones correctivas; 3-4 acciones preventivas y de 4- 5 acciones de mejora. Al ser el resultado 3 se requieren de acciones preventivas, sin embargo, de manera urgente, ya que el número tres representa la frontera entre correctivas y preventivas.

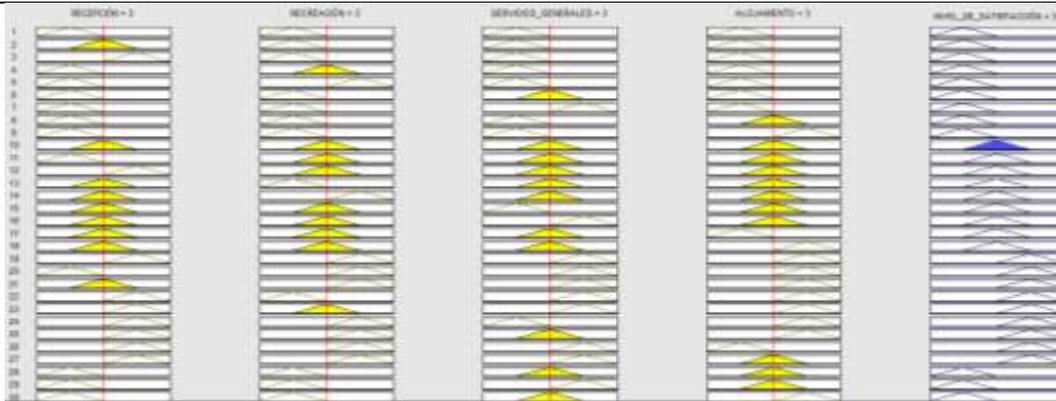


Figura 6. Resultados del modelo de lógica difusa.

4. Conclusiones

Al momento de evaluar los resultados se muestra un grado de difusidad para la interpretación de los mismos, lo cual nos permite identificar que la lógica difusa tiene su aplicación y a la vez nos proporciona un modelo para identificar la satisfacción del cliente. El escuchar la voz del cliente, nos permite evaluar indicadores de mejora para optimizar el servicio que permita elevar la calidad de los procesos y los productos. El sector de servicios en su mayoría utiliza las encuestas tipo Likert para medir el grado de satisfacción de los clientes.

En la determinación del grado de satisfacción que arroja este hotel de la región, la integración de la encuesta tipo Likert con el módulo difuso, ha permitido simplificar la evaluación de los criterios definidos en dimensiones de calidad que, en un método normal, exigen un proceso de cálculo tedioso, y un proceso de análisis que generalmente requiere un par de sesiones para concluir el nivel de satisfacción alcanzado por el sistema.

Con base a los resultados obtenidos el nivel de satisfacción y las acciones a tomar se clasifican de acuerdo a la siguiente ponderación 0-3 acciones correctivas; 3-4 acciones preventivas y de 4- 5 acciones de mejora. Al ser el resultado obtenido de 3.8 se considera que el nivel de satisfacción en el hotel es media y que es considerado como igual que en otros hoteles, es por ello que se requieren de acciones preventivas, pero de manera urgente ya que el número tres representa estar entre correctivas y preventivas para dejar de ser considerado como un hotel más.

A partir del gráfico general de dimensiones se observa que las acciones preventivas deben ser llevadas a cabo en la dimensión de recepción y de recreación dado que el desempeño en ambas es de tres considerándolo como de cuatro en escala de importancia por lo que se concluye que mediante el uso de lógica difusa en combinación de la escala de Likert se puede obtener una mejor percepción de los servicios que ofrece el hotel.

Finalmente, como trabajo futuro se propone el desarrollo de un modelo que permita determinar la satisfacción del cliente cuando este adquiere un producto o servicio combinando la importancia y el desempeño, estableciendo realmente un coeficiente de satisfacción.

Se extiende un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo de la beca académica para realizar los estudios de la maestría en Ingeniería Industrial cursada en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, otorgado a Ana Roselyn Pérez Méndez, José de Jesús Mendoza Osorio, Carlos Rafael Becerra Simón y Franti Núñez Álvarez, autores de esta investigación.

5. Referencias

- al, B. M. (2013). Utilización del alfa Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab .
- Hayes, B. E. (1999). *Cómo mediar la satisfacción del cliente*. México: Alfaomega.
- Javier Fernando Almaguer-Pratts, Y. P.-C. (2014). Procedimiento para mejorar la satisfacción del cliente basado en la lógica difusa. Aplicación en el hotel Miraflores.
- Martínez Solano, Q. M. (2009). Evaluación del servicio al cliente en los procesos de servicios públicos y tesorería de una administración municipal, basado en la escala SERVQUAL.

Wilson Edinson, B. S. (2015). Dimensiones del nivel de satisfacción de pacientes atendidos en la clínica odontológica de una universidad de Chiclayo.

Winston España, C. G. (2006). Estudio sobre "Análisis de satisfacción de servicios usando lógica difusa: caso centros de enseñanza de inglés".

6. Notas Biográficas

La **Ing. Ana Roselyn Pérez Méndez** es alumna de posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial y Profesora de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

El **Ing. José de Jesús Mendoza Osorio** es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz y profesor en la Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Veracruz.

El **Ing. Franti Núñez Álvarez** es alumno de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

El **Lic. Carlos Rafael Becerra Simón** es alumno de la maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

El **Dr. Saúl Santiago Cruz** es profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz.

Modelación de escenarios mediante programación lineal y muestreo aleatorio simple.

*Ing. José Aparicio Urbano¹, Ing., David Borjas Fernández²,
MII. Gabriel Grosskelwing Núñez³ MIA. Luis Enrique García Santamaría⁴.*

1 El Ing. José Aparicio Urbano, es alumno del programa de postgrado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: Mail joseaparciourbano@gmail.com

2 El Ing. David Borjas Fernández. Es alumno del programa postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: david_ingeniero10@hotmail.com

3 El MII. Gabriel Grosskelwing Núñez, es Profesor Investigador del área de postgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

4 El MIA. Luis Enrique García Santamaría, es profesor Investigador del área de postgrado en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: legarcias@itsm.edu.mx

Resumen—En este artículo se presenta la modelación de escenarios mediante la aplicación de programación lineal apoyada en muestreo aleatorio simple como las herramientas principales en la empresa “TAECOMA”, perteneciente al giro industrial manufacturero específicamente en el proceso de entrada de materia prima (pallets). El estudio resalta la utilidad del muestreo aleatorio simple para determinar la entrada de materia prima al proceso y complementa la programación lineal para el análisis de escenarios de utilidad óptima. Los resultados muestran que el 77% del producto de materia prima que arriba a la manufacturera llega en buenas condiciones, lo que sugiere un rechazo del 33% de la materia prima, considerando un análisis estadístico en un 95% de confianza. Así mismo, la programación lineal muestra que se está dejando de generar la máxima utilidad en el proceso. Por último, al utilizar muestreo y la programación lineal como herramientas que soportan la toma de decisiones, permitieron al dueño de la empresa generar recomendaciones de las condiciones de proveeduría.

Palabra(s) clave—Muestreo aleatorio simple, programación lineal, toma de decisiones.

Abstract—This article presents scenario modeling by applying linear programming supported by simple random sampling as the main tools in the company "TAECOMA" belonging to industrial manufacturing turn specifically in the process of entry of raw material (pallets). The study highlights the usefulness of simple random sampling to determine the raw material input to the process and complements the linear programming for scenario analysis of optimum utility. The results show that 77% of the product raw material manufacturing top comes in good condition, suggesting a rejection of 33% of the raw material, considering a statistical analysis at 95% confidence. Also, linear programming sample being left to generate the maximum profit in the process. Finally, when using sampling and linear programming as tools that support decision making, they allowed the owner of the company to generate recommendations proveeduría conditions.

Key words – Simple random sampling, linear programming, decision making.

1. Introducción

La modelación de escenarios capta la realidad y los elementos esenciales, al mostrar una fotografía de una situación específica. Además, es una de las formas más económica para evaluar y analizar situaciones en las que se tienen que tomar decisiones sin involucrar tantos recursos. La simulación de escenarios permite cambiar las alternativas y generar opciones de mejora, ya que un solo dato podría cambiar la perspectiva de los resultados. Normalmente la modelación de escenarios se utiliza en el campo de la ingeniería, los negocios y la economía. Se apoya de herramientas como el AHP, CBR, DEA para seleccionar proveedores, pero normalmente tienen la limitante de ser tediosos en su aplicación porque necesitan aplicarse por personal especializado. En este artículo se optó por utilizar programación lineal por su simplicidad y para realizar el análisis se utilizó la relajación del método mediante muestreo aleatorio simple (Viserda, 2011).

El muestreo aleatorio simple consiste en seleccionar una parte de una población. Suele utilizarse en diversas empresas y algunos autores consideran que las técnicas para recolección de datos tienden a utilizar el muestreo aleatorio simple (Canavos, 1988). De acuerdo con (Walpole, 2012) una de las características del muestreo aleatorio simple, es que considera que todos los elementos de la población tienen la misma

probabilidad de ser seleccionados, al ser seleccionados al azar. Otra característica es que los individuos de la población deben de ser homogéneos, es decir, contar con la misma propiedad particular de estudio. El muestreo permite hacer inferencias estadísticas.

Las inferencias estadísticas determinan cómo se comportan un conjunto de elementos en un evento o proceso (Montgomery, 1996). Las inferencias suscitadas como resultado de aplicar un muestreo aleatorio simple junto con el resultado de otras técnicas permiten un análisis más completo de un problema en particular (Walpole, 2012).

Para soportar al muestreo se utilizó al intervalo de confianza de una proporción. De acuerdo con (Lind, 2004) una proporción, es una fracción, razón o porcentaje que indica la parte de la muestra o población que tiene una característica determinada y un intervalo de confianza, es un conjunto de valores obtenido a partir de los datos muestrales, en el que hay una determinada probabilidad de que se encuentre el parámetro. A esta probabilidad se le conoce como el nivel de confianza.

La proporción poblacional se indica con π . Por tanto π se refiere al porcentaje de éxitos en la población, π es la proporción de éxitos en una distribución binomial. Para determinar un intervalo de confianza para una proporción poblacional se deben satisfacer las siguientes suposiciones: 1.- Que las condiciones binomiales se cumplan: Los datos muestrales son el resultado de contar algo, solo hay dos resultados posibles. (Éxito o Fracaso), la probabilidad de éxito no cambia de un ensayo a otro y los resultados son independientes. Esto significa que el resultado de un ensayo no afecta el resultado de otro. 2.- Que ambos valores $n\pi$ y $n(n-\pi)$ sean mayores o iguales a 5. Esta condición permite recurrir al teorema del límite central y emplear la distribución normal estándar, es decir, z como parte del intervalo de confianza (Lind, 2004).

El intervalo de confianza para la proporción ρ_n de una población finita, definida por (Lind, 2004), se muestra en la ecuación 1

$$P\left(\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} * \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \leq \rho \leq +Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} * \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}\right) = 1-\alpha \quad \text{Ecuación (1)}$$

El artículo se apoya en la programación lineal y como herramienta de investigación de operaciones, permite resolver situaciones reales o dificultades, a través de uso de algoritmos matemáticos para optimizar un proceso, llevándolo a su máxima o mínima función, con las variables y las restricciones existentes en el proceso o que puedan generarse en el caso de análisis (Salazar, 2016). La resolución de un problema de programación lineal consiste en la identificación de los elementos básicos de un modelo matemático. La función objetivo describe lo que se desea alcanzar: maximizar o minimizar dependiendo enteramente de quien lo formula (Ruiz, 2012).

Las variables de decisión son factores controlables del sistema que se están modelando, y como tal, estos pueden tomar diversos valores, de los cuales se precisa conocer su valor óptimo, que contribuyan a que el objetivo de la función se realice. Las restricciones son todo lo que limita la libertad de los valores que pueden tomar las variables de decisión (Salazar, 2016).

La mayoría de las pequeñas empresas no tienen implementadas herramientas estadísticas, ni personal capacitado en estos métodos, provocando que sus procesos no sean eficientes y ni estables para cumplir con la demanda. Las decisiones más comunes se toman de forma incierta sin considerar algunos elementos propios de proceso o con herramientas de ingeniería. La empresa "TAECOMA, no es la excepción, porque no cuenta con herramientas de ingeniería que le ayuden a tomar decisiones; presentando un área de oportunidad. La empresa se encuentra en la ciudad de Martínez de la Torre, perteneciente al Estado de Veracruz-Llave. Su principal actividad es la producción de pallets o tarimas de madera para la industria exportadora de cítricos regional.

El presente artículo tiene como objetivo determinar el número de pallets que llegan en óptimas condiciones (buenos o malos) y con ello tener una estimación de utilidad por los productos que fabrica "TAECOMA" diseñando diferentes escenarios. El diagrama de flujo de la figura 1, muestra las decisiones que se llevan a cabo al inspeccionar las tarimas. Para el desarrollo de este artículo se utilizó muestreo aleatorio simple, intervalos de confianza y programación lineal, lo cual permitirá hacer un análisis de la utilidad esperada para esta empresa.

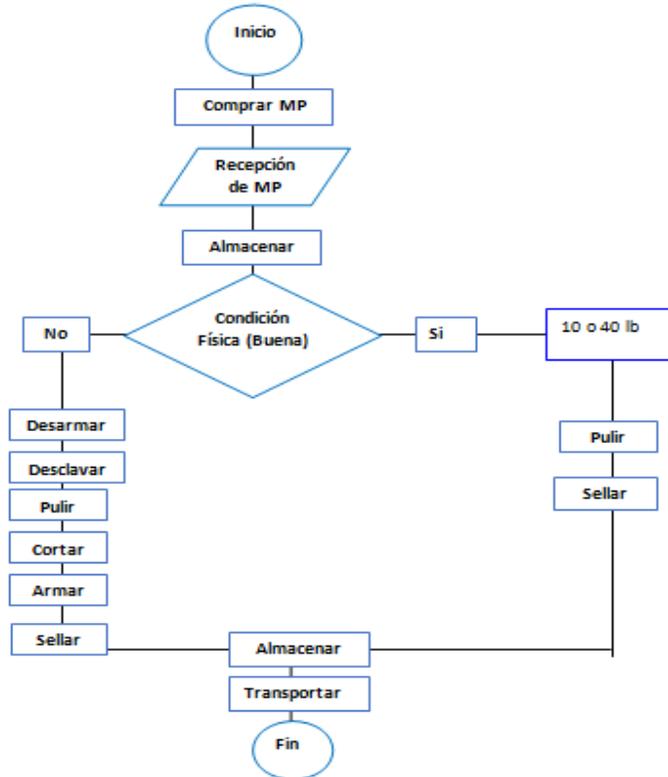


Figura 1: Diagrama de flujo “TAECOMA”.

2. Desarrollo

El estudio se realizó en cuatro etapas estratégicas: **la primera etapa** describe el problema, **la segunda etapa** utiliza al muestreo aleatorio simple y es descrito en cuatro pasos metodológicos: *el primer paso* fue determinar el tamaño de la muestra, *el segundo paso* fue calcular el tamaño de la proporción, *el tercer paso* en calcular el intervalo de confianza de la proporción y *el cuarto paso* en describir los resultados del muestreo aleatorio simple; **la tercera etapa** estratégica consistió en la aplicación de programación lineal en cuatro fases: *la primer fase* describirá como se encuentra la empresa, *la segunda fase* determinara las variables de estudio, *la tercer fase* el método algebraico logarítmico que se considera para este caso y en *la cuarta fase* se muestran los resultados obtenidos a partir de una herramienta computacional para solucionar el modelo matemático en los cuatro escenarios propuestos

Primer Etapa. Para describir el problema en la empresa “TAECOMA”, se atendió una solicitud por parte del dueño, porque mencionó desconocer el porcentaje real de los pallets de materia prima que llegaban a la empresa en buenas condiciones. El que lleguen la materia prima en buenas condiciones permite que el proceso de manufactura se realice de forma normal y el no llegar así, indica retrabajo, lo cual involucra invertir más recursos. Aunado a esto, el dueño quiere determinar cuánto podría llegar a obtener de utilidad con las condiciones actuales de su proceso, y para este estudio se consideró la entrada de materia prima.

Segunda Etapa. Con respecto a un convenio entre proveedor-cliente, el almacén de “TAECOMA” recibe 350 pallets cada sábado. Se revisa la condición física de los pallets y, partiendo de su condición se procesan y de lo contrario el proceso sea largo. En esta etapa, se utilizó el muestreo aleatorio simple para determinar el porcentaje de pallets que se reciben en buenas condiciones, mediante cuatro pasos.

Paso 1: Determinar el tamaño de la muestra para una población finita, conocida y pequeña. Se considera que entre más grande es la población, todas las distribuciones estadísticamente tienden a comportarse de forma normal, con base en esto y conociendo que cada lote de pallets es de $N= 350$ piezas, se determina a n (tamaño de la muestra), considerando los siguientes valores: donde la experiencia del dueño considera que en un

principio un 95% de pallets se reciben en buenas condiciones ($p=95\%$), por lo tanto un 5% pueden estar en malas condiciones ($q=5\%$), el valor correspondiente a la distribución de gauss, $z_{\alpha/2}^2 = 0.05 = 1.96$ y un error que se prevé cometer del 5 %, $d = 0.05$, los valores se sustituirán en la ecuación 2.

$$n = \frac{N}{1 + \frac{(d^2)(N-1)}{z_{\alpha/2}^2 pq}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Sustituyendo en la ecuación 2 y realizando las operaciones, se obtuvo:

$$n = \frac{350}{1 + \frac{(0.05^2)(350 - 1)}{(1.96^2)(0.95)(0.05)}} = 60.5384 \approx 61$$

Total de la muestra	Pallets buenos	Pallets malos
61	56	5

Tabla 1. Número de pallets (buenos y malos) obtenidas de la muestra

Paso 2: Calcular el valor de las proporciones ρ_n , se toma como base lo descrito en la tabla 1, cuya característica principal es pallets buenos, que fueron 56, de un total de 61 pallets y al sustituir los valores se encontró una proporción del 0.9180, lo que significa que un 91.80% representa el recibo de tarimas en buenas condiciones en el área de almacén.

$$\hat{\rho}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\hat{\rho} = \frac{56}{61} = 0.9180$$

Paso 3: Calcular el intervalo de confianza para la proporción ρ_n con la ecuación 1. Intervalo de confianza para la proporción ρ_n de una población finita.

Sustituyendo valores en la ecuación 1, un intervalo de confianza para la proporción ρ_n (tarimas buenas) con un 95% de probabilidad es:

$$P\left(0.9180 - 1.96 \sqrt{\frac{0.9180(1 - 0.9180)}{61}} * \sqrt{\frac{350 - 61}{350 - 1}} \leq \rho \leq 0.9180 + 1.96 \sqrt{\frac{0.9180(1 - 0.9180)}{61}} * \sqrt{\frac{350 - 61}{350 - 1}}\right) = 0.95$$

$$P(0.9180 - 0.0626 \leq \rho \leq 0.918 + 0.0626) = 0.95$$

$$P(0.8554 \leq \rho \leq 0.9806) = 0.95$$

$$P(85.54 \% \leq \rho \leq 98.06 \%) = 95\%$$

Paso 4: Resultados. Los resultados de las operaciones indican que el 91.8% de los pallets se reciben en buenas condiciones. A demás señalan las operaciones que la proporción de tarimas buenas se encuentra entre 85.54% y 98.06%, considerando que se tiene un 95% de probabilidad del intervalo de confianza. Si observamos los datos de nuestra proporción, podemos ver que efectivamente la proporción de tarimas buenas, 91.8%, se encuentra contenida en el intervalo establecido.

Tercer Etapa. En esta etapa se desarrolla el modelo de programación lineal con los datos obtenidos de la empresa mediante cuatro fases.

Primera Fase. Descripción del caso.

La empresa TAECOMA elabora tres tipos de pallets, de acuerdo a lo que el mercado regional exportador necesita, los cuales son catalogados de 40 libras, 10 libras con barrote y 10 libras con tacón respectivamente. Son catalogados en 10 libras (tacón y barrote) y 40 libras porque son hechas a la medida para el producto del cliente, es decir, el cliente exportador las necesita para estibar cajas de 40 libras y cajas con paquetes de 10 libras específicamente para el mercado norteamericano, europeo y japonés.

Se conoce que TAECOMA tiene una demanda semanal constante de 150 pallets de 10 libras con barrote, 80 pallets de 10 libras con tacón y 60 pallets de 40 libras. Las ventas semanales de las tarimas de 40 libras, 10 libras con barrote y 10 libras con tacón tienen un precio de venta de \$70.00, \$110.00 y \$150.00 pesos mexicanos respectivamente. Comenta el encargado de producción que la elaboración de cada producto le cuesta \$62.00, \$80.00 y \$100.00 pesos mexicanos respectivamente descritos en la tabla 2.

La capacidad de producción de TAECOMA es de 180 pallets de 10 libras con barrote, 100 pallets de 10 libras con tacón y 70 pallets de 40 libras. El proveedor se comprometió a surtir a lo más 350 unidades cada inicio de semana. El objetivo es determinar la cantidad de pallets de cada tipo que debe de producir obteniendo la mayor utilidad, con el proceso que tiene instalado en TAECOMA actualmente con base en el análisis económico (Ver tabla 2).

TAECOMA			
Característica	Cantidad	Barrotes	Tacón
Tipo de Pallet(Libras)	40	10	10
Precio de Venta (\$)	70	110	150
Costo de Producción (\$)	62	80	100
Utilidad (\$)	8	30	50

Tabla 2. Análisis económico*Segunda Fase. Declaración de variables.*

A continuación se declaran las variables que serán utilizadas en el modelo de programación lineal:

Max = Maximizar

U_0 = Utilidad

P = Coeficiente de ponderación.

x_1 = Cantidad de pallets de 40 libras.

x_2 = Cantidad de pallets de 10 libras con barrote.

x_3 = Cantidad de pallets de 10 libras con tacón.

Tercer Fase. Formulación del modelo matemático.

$$\text{Min } U_0 = 8X_1P + 30X_2P + 50X_3P$$

Ecuación (4)

Restricciones de la demanda:

$$X_1 = 60$$

Ecuación (5)

$$X_2 = 150$$

Ecuación (6)

$$X_3 = 80$$

Ecuación (7)

Restricciones de producción:

$$X_1 \leq 70$$

Ecuación (8)

$$X_2 \leq 180$$

Ecuación (9)

$$X_3 \leq 100$$

Ecuación (10)

Restricción del proveedor:

$$X_1 + X_2 + X_3 \leq 350$$

Ecuación (11)

Cuarta Fase. Resultados del modelo implementado en software.

Para la modelación de escenarios se toma en cuenta los valores del intervalo de confianza (p) resultado de sustituir en la ecuación 3, para generar los coeficientes de ponderación junto con los valores de las utilidades que se pueden esperar. Resolviendo en LINGO® (2016) se obtiene:

Escenario 1. En el primer escenario se considera el dato menor del intervalo de confianza (ecuación 1) como coeficiente de ponderación el cual es 85.54%, y con este el modelo sugiere que la mayor utilidad posible de generarse es \$7681.492 pesos, donde la demanda es satisfecha. Sugiere el modelo que no se utilizaran 60 unidades y aun se logra cumplir con la demanda. Ver tabla 3.

VARIABLE	VALUE
P	0.8554
X1	60
X2	150
X3	80
ROW	SLACK OR SURPLUS
BENEFICIO	7681.492
PRODUCCION	60

Tabla 3. Primer escenario del software.

Escenario 2. En el segundo escenario, el cual se toma el dato mayor del intervalo de confianza (ecuación 1) el cual es 98.06% como coeficiente de ponderación en la función objetivo, el modelo sugiere que la mayor utilidad posible de generarse es \$8805.788. Sugiere además que sobrara 60 unidades para lograr del recurso de proveeduría para alcanzar esta utilidad. Ver tabla 4.

VARIABLE	VALUE
P	0.9806
X1	60
X2	150
X3	80
ROW	SLACK OR SURPLUS
BENEFICIO	8805.788
PRODUCCION	60

Tabla 4. Segundo escenario del software

Escenario 3. El tercer escenario el modelo sugiere que con el 91.8% de buenas condiciones de entrada de materia prima, determinado de la ecuación 3, se está obteniendo una ganancia de \$8243.640, cumpliendo con la demanda existente. Se observa que se sobran 60 unidades de las disponibles para alcanzar esta utilidad. Ver tabla 5.

VARIABLE	VALUE
P	0.9180
X1	60
X2	150
X3	80
ROW	SLACK OR SURPLUS
BENEFICIO	8243.640
PRODUCCION	60

Tabla 5. Tercer escenario del software

Escenario 4. La ganancia óptima del cuarto escenario considera que el 100% de la materia prima llega toda en buenas condiciones, el modelo sugiere que es de \$8980.00 con la demanda actual. Igualmente que en los escenarios anteriores se dejan de utilizar recurso para logra la utilidad. Ver tabla 6.

VARIABLE	VALUE
P	1
X1	60
X2	150
X3	80
ROW	SLACK OR SURPLUS
BENEFICIO	8980.000
PRODUCCION	60

Tabla 6. Cuarto escenario del software

3. Resultados

Con la utilización del muestreo estadístico, se determinó que la materia prima cumple con un 91.8% con las características de calidad para ser aceptado en el proceso de producción de tarimas, valor por debajo del 95%, establecido por el dueño de la empresa.

Mediante el uso del intervalo de confianza se determinó los límites en que se puede encontrar la proporción estimada de un 91.8%, quedando entre $P(85.54\% \leq \rho \leq 98.06\%) = 95\%$.

Se definió un modelo de programación lineal que permitió analizar cuatro escenarios donde se refleja la utilidad mínima y máxima del comportamiento de entrada a proceso de los pallets.

Los resultados de los cálculos estadísticos muestran la cantidad de pallets en buenas y malas condiciones que están llegando al almacén de materia prima; el almacén 350 unidades en cada envío del proveedor y de acuerdo con los resultados del muestreo aleatorio simple, se determinó que solo un 91.8% de pallets se encuentra en condiciones de ser procesado, así mismo, un 8.2% de unidades deben ser retrabajadas para cumplir con los pedidos.

4. Conclusiones

La modelación de escenarios mediante herramientas de la ingeniería industrial permitió una toma de decisiones basada en resultados, tal es el caso de la utilización tanto del muestreo aleatorio simple y la programación lineal. Este sentido el muestreo proporcionó un 91.8% de llegada de pallets en buenas condiciones y la programación lineal permitió reflejar la utilidad mínima y máxima de los pallets en cuatro escenarios posibles.

Derivado de los escenarios que se generaron y con la utilización de los parámetros del intervalo de confianza, se puede recomendar mejorar las condiciones de entrada de materia prima, ya que no está generando la utilidad esperada, y depende del dueño revisar con su proveedor esta situación.

El modelar la situación de esta empresa evaluó un escenario pesimista, que es el límite del intervalo menor del análisis estadístico (85.54%), un escenario optimista; el cual está denotado en el intervalo superior estadístico (98.06%), que es donde puede caer actualmente su utilidad, en este caso el (98.1%) y un escenario óptimo (100%), mejorando las condiciones de entrada (materia prima). Se recomendó al dueño mejorar las condiciones de entrada al proceso de su empresa, revisando con su proveedor que efectivamente entregue mejor la mercancía.

Los resultados de este trabajo denotan la importancia de la estadística y programación lineal para la evaluación de procesos en las microempresas, para fomentar su crecimiento y tomar decisiones basados en información.

5. Referencias

Ruiz Torres, Alex Jesús, Ablanado Rosas, José Humberto & Ayala Cruz, Jorge (2012). *Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimiento en la entrega*. Revista SCIELO. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eg/v28n122/v28n122a03.pdf>

Bustamante C. Gladis (2011) *Aproximación al muestreo estadístico en investigaciones científicas*. ISSN 2304-3768. Revistas SCIELO. Recuperado de: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2304-37682011000700006&script=sci_arttext

Roldan Cortes María Angélica, De los Santos Posadas, Héctor Manuel, Ramírez Maldonado Hugo, Valdez Lalzalde, José Rene, Ángeles Pérez, Gregorio & Velázquez Martínez, Alejandro (2013). *Estimadores de muestreo para inventario de plantaciones forestales comerciales de eucalipto en el sureste mexicano*. Revista Mexicana Científica Forestal. Recuperado de: www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v5n26/v5n26a4.pdf

Walpole, Ronald, Myers Raymond, Myers Sharon & Ye Kevin (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Problemas de estimación de una y dos muestras*. Ed. Pearson. Novena Edición Pág. 265-313. ISBN 98-607-32-1418-6

C. Canavos, George & Urbina Medal Edmundo Gerardo (1988). *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos. Muestras Aleatorias y Distribuciones de Muestreo*. Ed. Mc Graw Hill. Pág. 214-249. ISBN 968-451-856-0

Cáceres Cárdenas, David, Reyes Vázquez John Paul, García Carrillo Mario Giovanni, Sánchez Rosero Carlos Humberto (2015). *Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales*. Revista Tecnológica ESPOL. Volumen 28 Numero 2 .Recuperado de: www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/322/236 ISSN 1390-3659

Delgado Hidalgo, Liliana & Toro Díaz, Héctor Hernán (2010) *Aplicación de un modelo de programación lineal en la optimización de un sistema de planeación de requerimientos de materiales (MRP) de dos escalones con restricciones de capacidad* Revista Redalyc.Org .Volumen 30 Numero 1. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n1/v30n1a29.pdf> ISSN 0120-5609

Guardado Ojeda, Luis Alberto, Lima Ferrer, Jacqueline, Orantes Pérez, Vianey Berenice & Zavala Zaragoza, Rogelio (2009). *Empleyadora automática de tarimas*. Instituto Politécnico Nacional. Páginas 1-19. Recuperado de: tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/2685/1/tarimas.pdf

Arechavala Vargas, Ricardo (1998). *Formas de operación en pequeñas empresas del occidente de México: Los retos de la competitividad en mercados abiertos*. Revistas Contaduría y Administración. Recuperado de: <http://www.ejournal.unam.mx/rca/189/RCA18908.pdf>

Montgomery, Douglas & Runger, George (1996), *Probabilidad y Estadística Aplicadas a Ingeniería*. Ed. Mc. Graw Hill. Primer edición. .ISBN 0-471-54041-2

Salazar López, Bryan (27 de Septiembre de 2016). *Programación Lineal. ¿Cómo resolver un problema mediante programación lineal?* Recuperado de: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/programaci%C3%B3n-lineal/>

Requenat, Bernat (25 de Septiembre de 2016) *Muestreo Aleatorio Simple* Recuperado de: <http://www.universoformulas.com/estadistica/inferencia/muestreo-aleatorio-simple/>

Lind, Douglas, Marchal, William & Mason Robert.(2004). *Estadística para administración y economía*. Editorial Alfaomega. Numero de edición 11.Paginas 298-321. ISBN 970-15-0974-9

Viserda Gallego, Laura, Lundquist, Janerik & Giraldo, Esmeralda. (2011). *Revisión de los métodos, modelos y herramientas para la selección de proveedores*. Recuperado de : http://www.e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/.../PFC_LauraVirvedaGallego_Resumen.pdf

ingo® (2016, Septiembre) Revisado el 19 de septiembre de 2016. Recuperado de: <http://lingo.softonic.com/descargar>

6. Notas Biográficas

El **Ing. José Aparicio urbano**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: joseapariourbano@gmail.com

El **Ing. David Borjas Fernández**, es estudiante del programa de postgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz, México. Mail: david_ingeniero10@hotmail.com

El **MII. Gabriel Grosskelwing Núñez**, es Profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

El **MIA. Luis Enrique García Santamaría**, es profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México. Terminó sus estudios de postgrado en Ingeniería Administrativa en el Instituto de Estudios Universitarios, Puebla, Puebla, México. Mail: legarcias@itsm.edu.mx

Modelo de decisión como soporte de compra de ganado vacuno diseñado en lógica difusa

*Benito Hernández Francisco, Ingeniero¹, Ing. Diana Dorantes Reyes², Ing. Jesús Castellanos Rivera³,
Ing. Carlos G. Hernández Sánchez⁴, Ing. Gustavo Gómez Aguilar⁵*

¹ Benito Hernández Francisco, Ingeniero, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0715@itsm.edu.mx

² La Ing. Diana Dorantes Reyes, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0711@itsm.edu.mx

³ El Ing. Jesús Castellanos Rivera, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jcastellanosr@itsm.edu.mx

⁴ El Ing. Carlos G. Hernández Sánchez, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0716@itsm.edu.mx

⁵ El Ing. Gustavo Gómez Aguilar, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0713@itsm.edu.mx

Resumen— El problema de toma de decisiones ha sido ampliamente usado como un problema de decisión multicriterio que ha abierto puertas a diferentes metodologías apoyadas en la inteligencia artificial. La lógica difusa, ha sido considerada para diseñar sistemas expertos como apoyo a la predicción y/o estimación en diferentes áreas y disciplinas tanto industriales como agrícolas y ambientales. El objetivo de este trabajo es presentar una aproximación a un modelo de decisión como soporte de compra de ganado vacuno basado en lógica difusa. El modelo permitió al decisor un proceso de compra mucho más ágil, ya que simplifico los factores de decisión que normalmente se utilizan en este proceso. Además, se minimizó la complejidad y la controversia entre comprador y vendedor. Los resultados permitieron ser contrastados con tres expertos que coincidieron que era la mejor decisión de compra.

Palabra(s) clave— **Lógica difusa, ganado, toma de decisiones, compra.**

Abstract – The problem of decision making has been widely used as a multicriteria decision problem that has opened doors to different methodologies supported by artificial intelligence. Fuzzy logic has been considered to design expert systems to support the prediction and / or estimation in different areas and disciplines both industrial and agricultural and environmental. The aim of this paper is to present an approach to a decision model to support buying of cattle based on fuzzy logic. The model enabled the decider process much more agile purchase, as I simplify the decision factors that are normally used in this process. Moreover, the complexity and controversy between buyer the seller is minimized. The results allowed to be contrasted with three experts agreed it was the best buying decision.

Key words – fuzzy logic, cattle, decision making, buy.

1. Introducción

La toma de decisiones puede definirse como: “Un proceso amplio que puede incluir tanto la evaluación de las alternativas, el juicio, como la elección de una de ellas (...)” (Artieta y González, 1998:368). En otras palabras, la toma de decisiones hace referencia a la capacidad cognitiva para elegir; lo que involucra: análisis, categorización, juicios probabilísticos, construcción de alternativas y decisión.

Es conocido que los procesos de decisión suelen ser altamente complejos por la cantidad de criterios que consideran. Al respecto, la literatura es abundante y puede encontrarse en ella diferentes métodos, procedimientos y enfoques para apoyar la decisión en diferentes campos de la industria. Pueden resaltarse las siguientes investigaciones:

Escobar (2015), presenta una metodología para la toma de decisiones en el mercado accionario colombiano utilizando la técnica multicriterio Analytic Hierarchy Process (AHP). La problemática está relacionada con el proceso de inversión en un mercado bursátil considerando criterios de riesgo y rentabilidad. La metodología propuesta incluye la integración de las técnicas tradicionales de decisión de inversión en portafolio de acciones junto con la técnica multicriterio AHP que permite evaluar un número finito de alternativas de manera jerárquica bajo criterios cualitativos y cuantitativos. La metodología ha sido probada en

la solución del problema de selección de portafolio de acciones de alta y media bursatilidad que cotizaron en el mercado colombiano durante el periodo de diciembre de 2007 a abril de 2010. Los resultados computacionales muestran la importancia y la eficiencia de la integración exitosa de los criterios tradicionales de inversión en portafolio de acciones junto con la metodología AHP para encontrar un balance apropiado entre rentabilidad y riesgo en el proceso de toma de decisiones de inversión en acciones en el mercado bursátil colombiano.

Fernández y Soares (2015), analizaron el método, denominado método del Veto, y especialmente su sensibilidad a las alternativas irrelevantes. Para realizar la evaluación del método, se usó como referencia el método de Copeland, por considerar que reduce la dependencia de las alternativas irrelevantes.

Orozco *et al.*, (2014), diseñaron un procedimiento para la evaluación y selección de proyectos de ciencia e innovación, ajustable a cualquier organización. Se usaron herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo de información y aplicaciones informáticas, para el diseño de indicadores, la determinación de sus pesos y la evaluación, y se estableció una prioridad para la decisión de seleccionar unos proyectos entre otros. Se garantiza además, un mecanismo de retroalimentación para la mejora del procedimiento. Se concluye que la visión integradora del procedimiento propuesto debe mejorar la efectividad de la gestión de proyectos dentro de las organizaciones y de la toma de decisiones sobre qué proyectos seleccionar para su financiamiento.

Parada (2009), presenta y aplica en dos organizaciones cubanas de servicios turísticos dos enfoques alternativos (multicriterio de aplicación del método ABC y la matriz de adquisición/índice de rotación), para clasificar los productos en existencia y servir de soporte a una gestión de aprovisionamiento eficiente y orientada al cliente. El estudio revela la pertinencia teórica y la factibilidad práctica de los métodos empleados para la toma de decisiones en la gestión de los inventarios.

González *et al.*, (2007), muestran un procedimiento para la toma de decisiones multicriterio multiexperto, el cual permite facilitar el consenso, una toma de decisiones en menor tiempo, garantizando el incremento de la eficiencia, eficacia y competitividad empresarial.

En otro campo el cual es muy utilizado por diferentes disciplinas y los últimos 25 años ha tenido un gran auge es la lógica difusa, la cual, ha sido considerada para diseñar sistemas expertos como apoyo a la predicción y/o estimación en el campo agrícola. Algunos trabajos que sobresalen en este sector son:

Lamastra *et al.*, (2016), detallan un sistema experto difuso conectado al software GIS, que es un instrumento útil para medir el impacto ambiental de la viticultura de una manera global. El software fácil debido a su sencillez podría ser utilizado por los agricultores y otros tomadores de decisiones para llevar a cabo una evaluación de la sostenibilidad a escala viña, y ayudar a mejorar su rendimiento, la adopción de medidas eficaces para mejorar la sostenibilidad del estado del vino.

Rodríguez *et al.*, (2016), diseñaron un índice basado en la lógica difusa, que es especialmente dirigido a evaluar la calidad dinámica de los suelos agrícolas - Índice de Calidad del Suelo Dinámico (S-ICD). Este índice es descrito por un grupo de tres índices (S- DQI_{PHYS}, S- DQI_{CHEM}, S- DQI_{BIOL}), cada uno diseñado para evaluar la calidad dinámica de los suelos agrícolas con respecto a sus características físicas, químicas y biológicas. Cada índice es determinado a partir de la opinión conjunta de un grupo de expertos, que decide: (i) los atributos o propiedades del suelo que determina su calidad dinámica para la agricultura; (ii) el indicador más adecuado para la cuantificación de cada uno de ellos; (iii) la influencia de los valores tomados por estos indicadores de la calidad de los suelos agrícolas, que se expresa por medio de funciones de pertenencia, y (iv) la importancia relativa de los atributos de la respuesta del índice, que se expresa por medio de vectores de prioridad normalizados. El valor de cada uno de estos índices se obtiene finalmente como resultado de un procedimiento de inferencia difusa, que es un valor nítido que van desde 0 a 1. El uso del S-ICD diseñado para el control rutinario de la calidad de los suelos agrícolas permite conocer los cambios inducidos en el suelo debido al uso, lo cual es útil para evaluar sistemáticamente la sostenibilidad de las prácticas agrícolas.

Van der y Haberlandt (2015), presentan un metamodelo basado en reglas difusas que consta de ocho módulos difusos, el modelo es capaz de simular flujos de nitratos en las grandes cuencas de sus fuentes, a través de la escorrentía superficial, subsuperficial y caudales base de la toma de captación. Las reglas difusas son entrenadas por una base de datos establecida con un modelo SWAT, calibrada para un área de investigación de 1000 km². El metamodelo se desempeña bien en esta área de formación y en dos de cada tres áreas de validación en diferentes paisajes, con un coeficiente Nash-Sutcliffe. De alrededor de 0.5- 0.7 para los cálculos mensuales de nitrato. El modelo difuso demuestra ser rápido, requiere sólo unos datos de entrada de fácil acceso, y la estructura del modelo basado en normas facilita una interpretación del sentido común del modelo, el enfoque presentado es adecuado para el desarrollo de herramientas de soporte de la toma de decisiones.

Yalcuk y Postalcioglu (2015), mediante lógica difusa y una interfaz gráfica de usuario (GUI) determinaron los parámetros de calidad de agua de una piscina de criaderos de truchas, se investigaron calidades del agua de piscinas de cuatro granjas de trucha con diferentes fuentes en términos de demanda química de oxígeno, nitrato de amonio, pH y parámetros de conductividad eléctrica durante los 270 días del período de estudio entre agosto de 2011 y abril de 2012. La lógica difusa se utilizó en la evaluación de estos datos y para la notificación de los valores críticos que superaban los valores límite. La clasificación del producto y las características de calidad se lleva a cabo por expertos humanos debido a la ausencia de dispositivos de medición. Los resultados permiten incluso a aquellas personas con un conocimiento inadecuado sobre el tema para comentar sobre la calidad del agua de la piscina.

Savic *et al.*, (2014), presentan los resultados de la modelización de la concentración de ozono troposférico así como la dependencia de los compuestos orgánicos volátiles y compuestos no orgánicos en el aire ambiente en paralelo con los parámetros meteorológicos: temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. El modelado se basa en los resultados de medición obtenidos durante el año 2009. El análisis estadístico de los datos obtenidos indicó que un modelado preciso no se puede realizar utilizando regresión lineal. Además, teniendo en cuenta que casi todas las variables de entrada tienen una amplia gama de variación relativa, el método de análisis estadístico no lineal basado en una sola regla de operación que describe el comportamiento de la variable de entrada, con toda seguridad no presenta suficientes resultados precisos. Debido a esa razón, el modelo se basa en Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS). El modelo obtenido utilizando la metodología ANFIS resultó tener una alta precisión, con un potencial de predicción superior al 80.

Neugebauer *et al.*, (2014), muestran el concepto y una prueba preliminar del control del proceso de compostaje con la lógica difusa. Debido a que los residuos de origen agrícola no requieren higienización, parte del calor puede ser recuperado, lo que reduce la temperatura en el montón a 55 °C (esto también es la temperatura óptima para el proceso de compostaje). El calor recuperado de un montón de compost se puede utilizar en otro lugar. Por lo tanto, un sistema de compostaje fue desarrollado en el que la tasa de eliminación de velocidad de aireación y el calor se puede ajustar. Hay dos objetivos de este sistema: la maximización de la cantidad de calor recuperado de la pila y la reducción al mínimo de la duración del proceso de compostaje. Los resultados muestran que las funciones del sistema de control de lógica difusa son correctos con respecto a los cálculos reales.

Li *et al.*, (2013), utilizan un intervalo de programación lineal difusa y construyen un modelo de optimización para el control total de la cantidad de contaminación de las aguas residuales.

Como se observa el creciente número de aplicaciones de la teoría de la lógica y los conjuntos difusos, demuestra que esta herramienta es exitosa para hacer frente a la incertidumbre, imprecisión y subjetividad inherente a los procesos de toma de decisiones, además, permite la evaluación y mejora de la calidad. El reciente desarrollo de nuevos procedimientos basados en lógica difusa abre nuevos caminos para llevar a cabo nuevas aplicaciones. Con estas consideraciones en mente, el objetivo de este trabajo es presentar una aproximación a un modelo de decisión como soporte de compra de ganado vacuno basado en lógica difusa.

2. Desarrollo

Método.

La presente investigación es de tipo exploratoria ya que permite una descripción de las variables implicadas en la compra-venta de ganado, tanto por parte de los clientes y los productores y/o gente relacionada con el proceso de comercialización de ganado. Los datos fueron recolectados por opiniones de tres expertos: un médico veterinario zootecnista, un productor de ganado y una persona dedicada a la compra-venta de ganado. La metodología seguida se describe en la Figura 1.

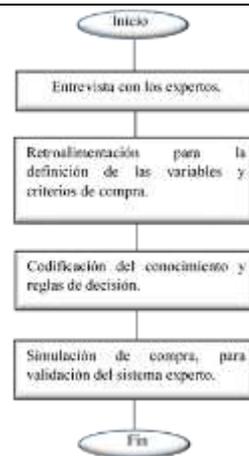


Figura 1. Enfoque para la toma de decisiones en la compra de ganado para engorda. Fuente: Elaboración propia.

Entrevista con los expertos.

Los escenarios de investigación se realizaron en la Asociación Ganadera Local en el municipio de Misantla Veracruz, la información fue proporcionada por tres expertos en el área de la comercialización de ganado como se describió anteriormente.

Retroalimentación para la definición de las variables y criterios de compra.

Las variables implicadas se describen en la Tabla 1.

Crterios	Descripción
Edad	Se refiere a la edad en meses que tiene el animal al momento de realizar la compra.
Peso	Hace referencia a los kilogramos de masa corporal que tiene el animal al momento de la compra
Linaje	Se refiere al tipo de raza predominante Holstein "pinto" y a variedades exclusivas para la engorda "Suizas, Cebuina, Beefmaster...etc. "
Crianza	Se refiere al tipo de dieta que llevo el animal desde su nacimiento hasta el momento de la compra.
Precio	Es el precio acordado al momento de la compra expresado en pesos por kilogramos (\$/kg).

Tabla 1. Criterios asociados al Sistema Difuso para la decisión de compra de ganado para engorda.

Con base en la información brindada por los expertos se describen las variables con sus diferentes variantes y sus distintas salidas tal como se describe en la Tabla 2. La Tabla 2 resume las variables que son introducidas al modelo difuso, así como sus tres variantes y respectivo valor codificado para entrar al modelo, las decisiones codificadas que brinda el modelo y su respectivo significado.

Variables de entrada	Variables lingüísticas	Función de Membresía	Variables de salida	Variables lingüísticas	Función de Membresía
Edad (Meses)	6 meses	[0,3,6]	Decisión (D)	No comprar	[0 2 4]
	9 meses	[5,7,9]			
	12 meses	[8,10,12]			
Peso (kg)	180 kg	[150 180 210]		Comproar p/estabular	[3 5 7]
	210 kg	[180 210 240]			
	250 kg	[220 250 280]			
Linaje (val.)	Pinto (B/N)	[0 0.5 1]			
	Otras razas	[0.5 1 1.5]			
Crianza	Estabulado	[0 3 6]				Comproar p/potrero	[6 8 10]
	Semiestabulado	[3 6 9]			
	Potrero	[6 9 12]			
Precio (\$)	\$40<	[34 38 42]			
	\$40 a \$50	[40 45 50]			
	> \$50	[40 45 50]			

Tabla 2. Variables de entrada y salida del Sistema Difuso.

Codificación del conocimiento y reglas de operación

El modelo difuso se diseñó con reglas del tipo IF-THEN, en el software MATLAB demo versión 7.10.0499 (Matrix Laboratory). Como se observa en la Figura 2. El motor de inferencia Mamdani para la obtención de la base de conocimiento lo definen 162 reglas de operación. La Tabla 1, define los criterios considerados en la base del conocimiento del modelo difuso.

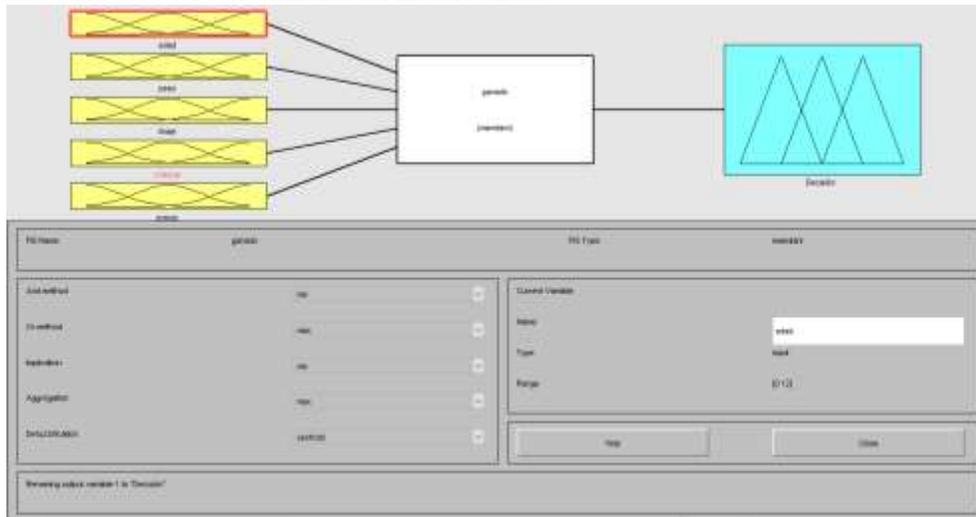


Figura 2. Ambiente de trabajo del software bajo el cual se codificaron las reglas de operación.

Simulación de compra para validación del sistema experto.

Se plantea un caso de estudio con variables de entrada al modelo obteniendo una respuesta de decisión de compra que permite una negociación.

3. Resultados

Caso de estudio.

Para demostrar la utilidad del sistema difuso reportado en este artículo, se atiende el caso de decisión para la compra de ganado para engorda. En este caso de estudio se evalúan tres escenarios para la decisión de compra de ganado para engorda.

El modelo difuso ha convertido en números borrosos los valores numéricos fijados en los criterios de los escenarios propuestos, para ajustar un valor difuso utilizando las reglas de operaciones descritas por el grupo de expertos que dieron origen al motor de inferencia del modelo difuso para seleccionar la mejor decisión en cuanto a la compra de ganado para engorda.

Escenario	Entrada					Salida	
	Edad	Peso	Linaje	Crianza	Precio	Valor	Decisión
1	5.5	192	1	5	49.2	8	Comprar p/potrero
2	9	197.5	1	7.8	49.3	8	Comprar p/potrero
3	8.5	235	1	4.5	50	5.36	Comprar p/ estabular

Tabla 3. Valores de entrada y salida al Sistema Difuso

En la Tabla 3, se resumen tres escenarios de negociación así como las diferentes variables consideradas para la construcción del modelo difuso, el valor que resulta de la evaluación del modelo y ese número codificado en una decisión.

Para la validación del modelo, se tiene los siguientes escenarios recolectados en un día de compra venta de ganado en las instalaciones de la Asociación ganadera local del municipio de Misantla Veracruz, en primer lugar, se introducen los datos de un candidato que tiene 5.5 meses de edad, con un peso 192 kg, de linaje Holstein, con procedencia estabulada o semi estabulada, solicitando un precio por el candidato de 49.2 \$/kg. El

modelo brinda una solución codificada en un valor 8, mismo valor que traducido en una decisión se brinda la decisión de comprar. Cabe notar que, aunque el modelo sugiere comprar también aconseja que si se compra sea para engordado en potrero. La misma interpretación de las variables y el resultado obtenido puede utilizarse para interpretar los siguientes dos escenarios de estudio. Un ejemplo de los resultados obtenidos se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Resultados obtenidos para el primer escenario de estudio.

4. Conclusiones

El proceso de toma de decisiones cuando se realiza el proceso de comercialización, en especial la compra-venta de ganado, implica un proceso de negociación sumamente complejo por las serie de factores y opiniones entre el comprador y el vendedor y entre los mismos compradores y como resultado se obtiene un proceso de compra bastante subjetivo. En el modelo presentado en este trabajo se integraron diferentes factores de expertos compradores y negociadores en ese ámbito, este proceso demostró una mayor facilidad de compra y simplificación de los tiempos y como consecuencia se mejoró el proceso de acuerdo en ambas partes. El modelo ha demostrado su eficacia en la evaluación de una decisión de comprar o no comprar o alguna variante que brinda soporte para la negociación.

Aunque si bien el modelo difuso ha demostrado su eficacia como apoyo a la compra de ganado una desventaja sería que los productores o clientes no cuenten con la práctica necesaria para ejecutarlo o con técnicos que puedan apoyarlos, para minimizar este riesgo, es conveniente entregar este producto a la Asociación ganadera local y que el personal empleado en dicha asociación pueda brindar el apoyo a los diferentes usuarios.

Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento a la asociación ganadera local de Misantla por su colaboración en esta investigación, y especialmente 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, así como a los investigadores que brindaron apoyo a la realización de la misma.

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/>
- Escobar, J. W. (2015). Metodología para la toma de decisiones de inversión en portafolio de acciones utilizando la técnica multicriterio AHPContaduría y Administración [en línea]. *Contaduría y Administración*, 346-366.
- Fernández, B. Á., & Soares, d. M. (2015). Análisis del método ordinal de decisión multicriterio del VetoIngeniare. *Revista Chilena de Ingeniería [en línea]*, 556-568.
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Gonzales, H. M. (s.f.). *Proteccion reles*.
- González, S. C., Garza, R. R., & Salinas, G. E. (2007). Toma De Decisiones Empresariales: Un Enfoque Multicriterio Multiexperto. *Ingeniería Industrial*, XXVIII. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433562007>
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Pricipios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Lamastra, L., Balderacchi, M., Guardo, D., Monchiero, M., & Trevisan, M. (2016). A novel fuzzy expert system to assess the sustainability of the viticulture at the wine-estate scale. *Science of the Total Environment*, 31488-7.
- Li, Z., Wen, J., Wang, Z., Sun, Z., & Li, Y. (2013). An interval-fuzzy emissions reduction optimization model for regional water pollutant total amount control. *Applied Mechanics and Materials*, 497-500.
- Neugebauer, M., Solowiej, P., & Piechocki, J. (2014). Fuzzy control for the process of heat removal during the composting of agricultural waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 291-297.
- Orozco, S. E., Piloto, F. M., Sánchez, S. M., Ramos, M. L., Más, B. A., & González, P. F. (2014). Decisión multicriterio para la evaluación y selección de proyectos de ciencia e innovación. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud [en línea]*, 249-256 .
- Parada, G. Ó. (2009). Un Enfoque Multicriterio Para La Toma De Decisiones En La Gestión De Inventarios. *Cuadernos de Administración*, 169-187.
- Rodríguez, E., Peche, R., Garbisu, C., Gorostiza, I., Epelde, L., Artetxe, U., . . . Etxebarria, J. (2016). Dynamic Quality Index for agricultural soils based on fuzzy logic. *Ecological Indicators*, 678-692.
- Savic, M., Mihajlovic, I., Arsic, M., & Zivkovic, Z. (2014). Adaptive-network-based fuzzy inference system (ANFIS) model-based prediction of the surface ozone concentration. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 1323-1334.
- Van der, H. S., & Haberlandt, U. (2015). A fuzzy rule based metamodel for monthly catchment nitrate fate simulations. *Journal of Hydrology (Amsterdam, Netherlands)*, 863-876.
- Yalcuk, A., & Postalcioglu, S. (2015). Evaluation of pool water quality of trout farms by fuzzy logic: monitoring of pool water quality for trout farms. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1503-1514.

6. Notas biográficas

El **Ing. Benito Hernández Francisco**, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0715@itsm.edu.mx

La **Ing. Diana Dorantes Reyes**, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0711@itsm.edu.mx

El **Ing. Jesús Castellanos Rivera**, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jcastellanosr@itsm.edu.mx.

El **Ing. Carlos G. Hernández Sánchez**, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0716@itsm.edu.mx.

El **Ing. Gustavo Gómez Aguilar**, es alumno de Posgrado de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. 152t0713@itsm.edu.mx.

Modelo de optimización para las rutas de venta en la Panadería Zayas.

Alain Gabriel García Martínez, Ing.¹, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez², Dr. Gregorio Fernández Lambert³, Ing. Valentín Blanco Bustamante⁴, Ing. Víctor Alfredo de los Santos Jimeno⁵

¹ El Ing. Alain Gabriel García Martínez es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. alaingabrielg@gmail.com

² El MII. Gabriel Grosskelwing Núñez, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Con Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. Actualmente es Docente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

³ El Dr. Gregorio Fernández Lambert, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. gfernandezl@itsm.edu.mx

⁴ El Ing. Valentín Blanco Bustamante, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico de Morelia, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. goner-17@hotmail.com

⁵ El Ing. Víctor Alfredo de los Santos Jimeno, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. vadlsj@hotmail.com

Resumen- En este trabajo se utiliza la programación lineal binaria apoyada de herramientas estadísticas para maximizar las ventas de una empresa panificadora de la ciudad de Misantla, Veracruz. Las empresas panificadoras de Misantla trabajan comúnmente de manera artesanal, por lo que las estrategias para la venta de sus productos se llevan a cabo de manera empírica. Se propone generar un modelo de optimización de las rutas de venta el cual nos proporcione de entre distintas rutas, aquella por la cual se logre una venta máxima. El análisis se centra en las rutas a seguir por un triciclo repartidor de pan de dicha panificadora. Como resultado se obtuvo gracias a la programación lineal binaria una ruta óptima a seguir por el triciclo repartidor para generar la mayor cantidad de ventas posibles y, por lo tanto, un incremento en la ganancia bruta para la empresa.

Palabra (s) clave- Programación lineal binaria, herramientas estadísticas, modelo de optimización, panificadora.

Abstract- In this paper the binary linear programming supported with statistical tools is used to maximize sales of a bakery company in Misantla, Veracruz. Bakeries in Misantla commonly work by craftsmen, so that strategies for selling their products are carried out empirically. It aims to generate an optimization model of sale routes which provide between different routes, one for reaching a maximum sale. The analysis focuses on the routes to be followed by a delivery tricycle belonging to the bakery. As a result, was obtained thanks to the binary linear programming an optimal route to be followed by the delivery tricycle to generate the maximum sales possible and, therefore, an increasement in gross profit for the company.

Key words- Binary linear programming, statistical tools, optimization model, bakery.

1. Introducción

Este trabajo se realizó con el propósito de maximizar las ventas de la empresa panificadora Zayas que trabaja de manera artesanal en la ciudad de Misantla, Veracruz. En la panificadora Zayas, empresa en funciones desde el año 1986 dedicada a la elaboración de Pan Fino se ha reportado una disminución considerable de ventas identificando que se debe a que no se cuenta con la definición de rutas apropiadas para efectuar dichas ventas. Las ventas que se realizan en la actualidad exigen más a los vendedores, debiendo tener ciertas habilidades en la negociación y apoyarse de alguna metodología que les permita potenciarlas. En la actualidad, La representación de redes se utiliza de manera amplia en áreas tan diversas como producción, distribución, planeación de proyectos, localización de instalaciones, administración de recursos y planeación financiera, por mencionar sólo algunos ejemplos (Hillier & Lieberman, 2010). Dentro de los problemas de redes más utilizados se encuentra el problema de la ruta más corta o ruta mínima, en donde el objetivo principal es encontrar la trayectoria con la distancia mínima total del origen al destino (Hillier & Lieberman, 2010). Existen heurísticas que permiten resolver el problema de la ruta más corta, como el algoritmo de Dijkstra, dicho algoritmo encuentra la distancia más corta entre un nodo origen y otro conjunto de nodos, pero este no entrega la ruta que se debe seguir desde el nodo origen a otro nodo, Dijkstra tiene un gran poder, pero él no indica la composición de la ruta óptima (José & Jhon, 2004). Las soluciones al problema de la ruta más corta han sido desarrolladas por años por los investigadores del área de investigación de operaciones, pero su aplicabilidad en medios o

sectores reales requiere o involucra la implementación de modelos con mayor número de restricciones y variables de análisis que permitan su implementación, además, el proceso de levantamiento de la información es vital para el desarrollo de un algoritmo adecuado de solución (González, Triana, & Caimán, 2014). La presente investigación contempla la realización de un modelo de optimización de redes con la finalidad de maximizar la ruta de ventas de la panadería haciendo uso de una variación del modelo lineal de la ruta más corta, en donde en vez de encontrar la mínima distancia del nodo origen al nodo destino se pretende encontrar la ruta que maximice las ventas. La Programación Lineal es una técnica matemática que permite maximizar y/o minimizar una función de dos o más variables sujeto a restricciones derivadas de la escasez de recursos disponibles. En optimización, frecuentemente aspiraremos a modelar problemas de modo lineal ya que son empíricamente más fáciles de resolver. Sin embargo, muchos problemas presentan situaciones en que la linealidad del modelo se hace muy difícil de sostener con un conjunto de variables continuas como única herramienta de modelación. Es así como surgen las variables binarias (aquellas que solo pueden tomar los valores entre 0 y 1) (Ayuso, 2007). El resultado obtenido en esta investigación nos permitió concluir por medio de la implementación de una variación del modelo de la ruta más corta y la aplicación de herramientas estadísticas una ruta de venta óptima y, con ello, la maximización de las utilidades.

2. Desarrollo

La metodología proveniente del campo de la investigación de operaciones en programación lineal binaria utilizada es una variación del modelo de la ruta más corta el cual nos permite maximizar en lugar de minimizar la función objetivo. El modelo de la ruta más corta determina la ruta mínima entre un origen y un destino en una red de transporte. El mismo modelo puede representar otras situaciones, como se muestra en los siguientes ejemplos. 1) Reemplazo de maquinaria o equipo. 2) Ruta más confiable, entre otros (Taha, 2012).

Las etapas a seguir en esta metodología son: 1) Formulación del problema a resolver (identificar la problemática, recolectar información, analizar la situación actual). 2) Modelación (construcción del modelo matemático, generar la solución óptima, validar y evaluar la solución encontrada). 3) Implementación del modelo.

Los datos obtenidos para la aplicación del modelo matemático fueron recolectados por el propietario de la panadería del 18 de julio al 22 de agosto de 2016 (Muestra 1), posteriormente se recolectaron datos del 5 de septiembre al 2 de octubre de 2016 (Muestra 2) por medio del diseño de un formato en el cual se capturó la siguiente información: Hora de entrada y salida del vendedor, cantidad de piezas de pan entregadas al vendedor, cantidad de piezas sobrantes al final de la venta, dirección del punto de venta, cantidad de piezas de pan vendidas en la trayectoria hacia cada uno de los puntos de ventas y durante la estancia en el mismo. A partir de la información obtenida por el propietario y por el grupo de trabajo se determinaron las rutas semanales como se observa en la Tabla 1, también se determinó la ubicación de los respectivos puntos de venta como se puede ver en la Tabla 2.

No. de ruta	Puntos de venta a seguir por ruta	Días por ruta
Ruta 1	1 – 2 – 4 – 5 – 7 – 9 – 10 – 11	Lunes y jueves
Ruta 2	2 – 3 – 5 – 8 – 10 – 11	Martes y viernes
Ruta 3	3 – 5 – 7 – 8 – 10 – 11	Miércoles y sábado
Ruta 4	3 – 6 – 8 – 10 – 11	Ruta de prueba
Ruta 5	1 – 4 – 7 – 9 – 11	Ruta de prueba
Ruta 6	2 – 5 – 6 – 8 – 10 – 11	Ruta de prueba

Tabla 4: Rutas a seguir por semana.

Las rutas de prueba {4,5,6} fueron definidas a criterio del propietario las cuales únicamente se realizan en domingo una cada tres semanas.

N°	DIRECCIÓN
1	Calle Dante delgado y Carolina Anaya
2	Calle Fernando Montes de Oca y Agustín Melgar
3	Calle Juan de la barrera y Vicente Suarez
4	Boulevard Ávila Camacho y Calle Dante Delgado
5	Carolina Anaya y Feliciano López Santiago
6	Calle Juan Escutia y Vicente Suarez
7	Calle Fco. Márquez y Juan Escutia
8	Calle Manuel Rivera y Boulevard Ávila Camacho
9	Boulevard Ávila Camacho y Calle 20 de Noviembre
10	Boulevard Ávila Camacho y Calle Carolina Anaya
11	Calzada y Calle Arroyo Flores

Tabla 5: Ubicación de los puntos de venta.

Para determinar la confiabilidad de los datos obtenidos en cada una de las rutas definidas por el propietario y por el equipo de trabajo se determinó realizar una prueba de hipótesis para la diferencia de medias con varianzas desconocidas, debido a que se tienen dos muestras por cada ruta de las cuales no se conoce la varianza, en donde la Muestra 1 son los datos históricos obtenidos por el propietario, y la Muestra 2 son los datos recolectados por el equipo de trabajo. Antes de realizar la prueba de hipótesis para la diferencia de medias, es necesario comprobar que los datos se comportan de manera normal, para ello se realiza el Test de Shapiro-Wilk para cada una de las muestras de las diferentes rutas, debido a que se tiene n_1 y n_2 igual a 12, y tal como menciona (Díaz, 2009) la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk es una de las pruebas con mayor sensibilidad y se utiliza cuando se tiene $n \leq 50$. Los resultados del Test de Normalidad obtenidos mediante el Software RStudio son mostrados en la Tabla 3, donde DH significa datos históricos y DM datos medidos por el equipo de trabajo.

Ruta	Ruta 1 DH	Ruta 1 DM	Ruta 2 DH	Ruta 2 DM	Ruta 3 DH	Ruta 3 DM	Ruta 4 DH	Ruta 4 DM	Ruta 5 DH	Ruta 5 DM	Ruta 6 DH	Ruta 6 DM
Valor de P	0.426	0.260	0.683	0.652	0.284	0.711	0.327	0.435	0.482	0.397	0.547	0.521

Tabla 6: Valores de P del Test de Normalidad de Shapiro-Wilk

Tomando como base una significancia (α) del 5%, se determina que los datos de cada uno de las rutas provienen de una población normal debido a que cada uno de los Valores de P son mayores a α . Debido a que los datos se comportan de manera normal se pueden realizar las pruebas de hipótesis correspondientes para comparar cada par de medias de las distintas rutas y determinar si las medias de los datos históricos proporcionados por el propietario son estadísticamente iguales a las del equipo de trabajo. Las hipótesis de trabajo son las siguientes:

$$H_0: \mu_{1x} - \mu_{2y} = 0$$

$$H_1: \mu_{1x} - \mu_{2y} \neq 0$$

Donde:

x= es el número de ruta (1,2,3,4,5,6) de los datos proporcionados por el propietario.

y= es el número de ruta (1,2,3,4,5,6) de los datos obtenidos por el equipo de trabajo.

Los resultados de la prueba de hipótesis se obtienen mediante el Software Minitab 17 y se muestran en la Tabla 4.

	μ_1	μ_2	Desv. Est. 1	Desv. Est. 2	Valor P.	Resultado
RUTA 1	303	303	4.60	3.00	1.000	Se acepta Ho
RUTA 2	265.17	265	5.42	4.14	0.933	Se acepta Ho
RUTA 3	258.25	259	4.65	3.51	0.883	Se acepta Ho
RUTA 4	242	243	2.83	2.65	0.750	Se acepta Ho
RUTA 5	234.50	236	6.36	5.66	0.827	Se acepta Ho
RUTA 6	270	271	1.41	1.77	0.596	Se acepta Ho

Tabla 7: Resultados de Prueba de Hipótesis

Con un $\alpha=5\%$, y el criterio de decisión $\text{Valor P} < \alpha$ se rechaza H_0 , se puede observar que para todas las rutas se tiene un $\text{Valor P} > \alpha$ por lo que se determina que los promedios de las ventas de pan proporcionados por el propietario y los promedios de las ventas del equipo de trabajo son estadísticamente iguales, es decir, que los datos son confiables y útiles para determinar los promedios de venta en cada uno de los trayectos hacia los distintos puntos de venta.

En la Figura 1 se muestran las diferentes rutas obtenidas durante el estudio de los recorridos de ventas del triciclo, donde el nodo “P” es la panadería tomada como punto de partida del triciclo y los nodos “1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 y 11” representan un punto de venta establecido por el propietario de forma práctica basado en la experiencia y donde cada valor que se ilustra en el arco representa la cantidad promedio de piezas vendidas durante el recorrido del vendedor entre los distintos puntos de venta.

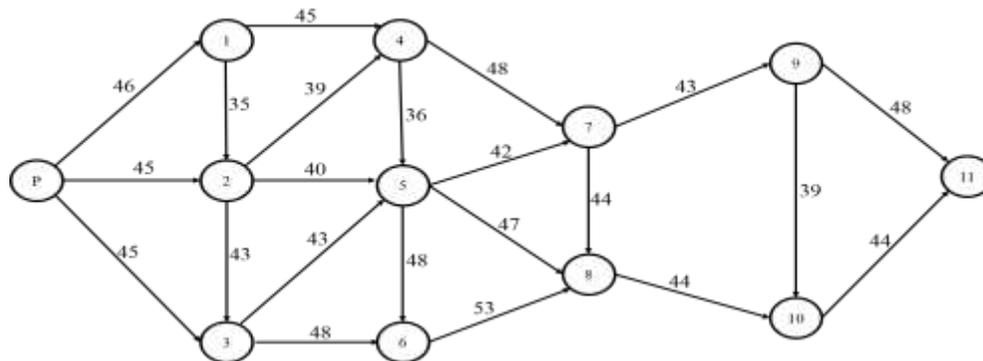


Figura 1.- Red de Ventas del Triciclo de la Panadería Zayas.

2.1 Planteamiento del problema

La finalidad de cualquier negocio o empresa es la de generar utilidades para el propietario, en otras palabras, ofrecer algún producto o servicio a la sociedad de cualquier tipo con el fin de lograr un beneficio económico mientras se satisface una necesidad. Dado a que la panadería Zayas es un negocio de pan artesanal no tiene una metodología a seguir en cuanto a la definición de sus rutas de venta se refiere, por lo tanto, estos se ven obligados a manejarlas de manera empírica en donde dichas rutas simplemente son definidas por el propietario sin tomar en cuenta ningún análisis previo que le proporcione la mejor opción. Para el desarrollo de este estudio se considera el caso de la panadería “Zayas” en la ciudad de Misantla, Veracruz, donde cuenta con una jornada laboral de 12 horas durante 7 días a la semana. Dicha panadería cuenta con una variedad de venta diaria, como lo son el pan fino compuesto por los (chamucos, gusano, tostado, hilo, chilindrina y ochos) muy habitualmente entre la población y pan de dulce (budín, pan blanco, pambazos, bolillos, volovanes,). Cabe mencionar que dentro del historial de ventas de la panadería “Zayas” destacan las piezas con mayor venta; chamuco, gusano, tostado, y ocho. Por otra parte, se determina por el experto que la ganancia promedio por pieza de pan es de \$1.20. En base a los datos obtenidos se observa un promedio de venta de 263 piezas de pan/día.

El motivo de este trabajo es plantear un modelo de programación lineal binaria, para ello se utiliza una variación del modelo de la ruta más corta en el cual en vez de minimizar la distancia recorrida nos permitirá obtener la ruta que maximice las ventas de pan (pan fino y/o de dulce).

A continuación, se muestra el modelo en el cual se basó para la determinación de la ruta óptima.

$$\text{Max } Z = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij} \quad \text{Ecuación 1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{\text{arcs out}} X_{ij} - \sum_{\text{arcs in}} X_{ij} = 1; \text{ Nodo Origen } i \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\sum_{\text{arcs out}} X_{ij} - \sum_{\text{arcs in}} X_{ij} = 0; \text{ Nodos Intermedios } \forall i, j$$

$$\sum_{\text{arcs in}} X_{ij} - \sum_{\text{arcs out}} X_{ij} = 1; \text{ Nodo Destino } j \quad \text{Declaración de variable binaria}$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si existe flujo de } i \text{ a } j \\ 0, & \text{otra forma} \end{cases}$$

La ecuación 1 maximiza la cantidad de pan a vender de un nodo origen a un nodo destino pasando a través de varios nodos intermedios, la ecuación 2 indica que del nodo origen solo se puede desplazar por un arco hacia un punto, la ecuación 3 indica que los flujos de salida de cada nodo deben de ser iguales a los flujos de entrada de dicho nodo, la ecuación 4 indica que solo se debe de elegir un arco para llegar al nodo destino, la declaración de variables es binaria, donde 1 indica que existe flujo entre los distintos nodos, y 0 que no existe flujo.

3. Resultados

Utilizando el software LINGO 16, el modelo de programación lineal binaria nos presenta un valor de la función objetivo de 335 piezas de pan/día, esto contrastado con las ventas promedio de 263 piezas/día en meses anteriores se observa un incremento en las ventas de 72 piezas de pan diarias lo cual nos representa en términos de porcentaje un incremento del 27.38%, al igual que se determina que la ruta óptima a seguir es por los nodos P-1-2-3-3-5-7-9-10-11.

Local optimal solution found.

Objective value: 335.00

Extended solver steps: 0

Total solver iterations: 0

Variable Value Reduced Cost

XP1 1.000000 -46.00000
 XP2 0.000000 -45.00000
 XP3 0.000000 -45.00000
 X12 1.000000 -35.00000
 X14 0.000000 -45.00000
 X23 1.000000 -43.00000
 X24 0.000000 -39.00000
 X25 0.000000 -40.00000
 X35 1.000000 -43.00000
 X36 0.000000 -48.00000
 X45 0.000000 -36.00000
 X47 0.000000 -48.00000
 X56 0.000000 -48.00000
 X57 1.000000 -42.00000
 X58 0.000000 -47.00000
 X68 0.000000 -53.00000
 X79 1.000000 -43.00000
 X78 0.000000 -44.00000
 X810 0.000000 -44.00000
 X910 1.000000 -39.00000
 X911 0.000000 -48.00000
 X1011 1.000000 -44.00000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	335.0000	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000

Discusión

La programación lineal binaria por medio de la utilización de una variación en el modelo de la ruta más corta ha permitido modelar un escenario para las rutas de ventas para la Panadería Zayas, de ahí la utilidad de esta técnica para la optimización de redes de ventas y de distribución en áreas donde normalmente no se utiliza, debido a que, por lo general en empresas artesanales, las rutas de venta más favorables solo son elegidas de manera empírica. Los resultados obtenidos en el LINGO 16 ofrecen la siguiente información: Con la ruta óptima obtenida, se podrá cubrir una demanda de 335 piezas de pan, obteniendo una utilidad promedio de 402 pesos, aumentando las ventas un 28.38%. Para lograr el objetivo, la ruta de venta óptima que debe seguir el triciclo es la siguiente: La ruta de reparto es P-1-2-3-5-7-9-10-11, es decir, el vendedor de pan inicia en Francisco Márquez y Juan de la barrera donde se encuentra dicha panadería, el primer punto de venta se encuentra en la Calle Dante Delgado y Carolina Anaya, para llegar a este punto se desplaza por la calle Juan de la Barrera; el segundo punto es en Fernando Montes de Oca y Agustín Melgar que se desplaza al final de la calle Dante Delgado; el tercer punto se ubica en la calle Juan de la Barrera y Vicente Suarez, para llegar a dicho punto se desplaza al final de la calle Francisco Márquez; el cuarto punto es ubicado en Carolina Anaya y Feliciano López Santiago y para llegar a este punto se desplaza por la avenida Daniel Vázquez Muñoz, el quinto punto de venta está ubicado en Francisco Márquez y Juan Escutia; el sexto punto está ubicado en Boulevard Manuel Ávila Camacho y 20 de noviembre, el séptimo punto y antepenúltimo punto es ubicado en el Boulevard Manuel Ávila Camacho y Carolina Anaya octavo y último punto es en Calzada y Arroyo Flores que es en donde se concluye la venta de pan. En la figura 2 se observa la ruta óptima que se debe de seguir para maximizar las ventas de pan.

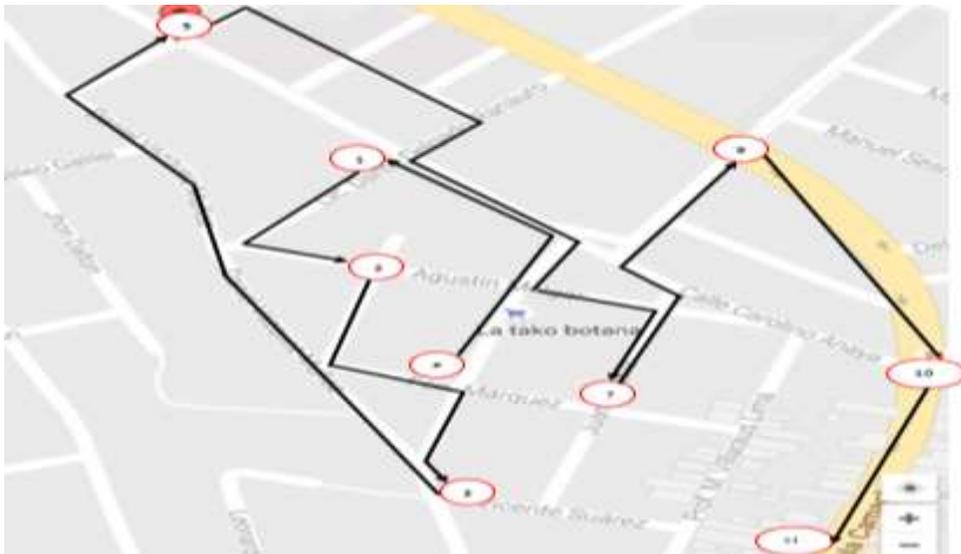


Figura 2.- Ruta Óptima

4. Conclusiones

El uso de la programación lineal binaria con apoyo de herramientas estadísticas para la mejora de las rutas de venta en las empresas panificadoras de Misantla, Veracruz, permite visualizar y seleccionar de entre un considerable conjunto de rutas ubicadas en una red de nodos, aquellas que hay que seguir para generar una mayor cantidad de ventas durante el recorrido y, con ello, generar mayores ingresos para la empresa. De acuerdo con los datos obtenidos por el software LINGO 16 se recomienda seguir la ruta {1, 2, 3, 5, 7, 10, 11} para una generación de ventas máxima. A futuro el propietario de la panificadora pretende implementar más triciclos de venta con el fin de tener una mayor cobertura dentro de la ciudad por lo que dicho modelo podrá ser implementado de manera similar.

5. Referencias

- Ayuso, M. d. (2007). *Introducción a la programación lineal*. México, D.F.: UNAM.
- Díaz, A. (2009). *Diseño Estadístico de Experimentos*. Colombia: Universidad de Antioquia.
- González, J. E., Triana, C. F., & Caimán, P. J. (2014). Ruta mas corta: Soluciones algorítmicas para movilidad eficiente en la malla vial de Cundinamarca. . *Epsilon*, 63-84.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. México, D.F.: McGraw-hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- J. H., & J. J. (2004). Aplicación de la Teoría de Grafos y el Algoritmo de Dijkstra para determinar las distancias y las rutas más cortas en una ciudad. *Scientia Et Technica*, 121-126.
- Mendenhall, W. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. México, D.F.: Cengage Learning.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones*. México: Pearson.

6. Notas Biográficas

El **Ing. Alain Gabriel García Martínez** es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. alaingabrielg@gmail.com

El **MIL. Gabriel Grosskelwing Núñez**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Con Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. Actualmente es Docente en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert**, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. gfernandezl@itsm.edu.mx

El **Ing. Valentín Blanco Bustamante**, es Ingeniero Industrial por Instituto Tecnológico de Morelia, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. goner-17@hotmail.com

El **Ing. Víctor Alfredo de los Santos Jimeno**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial por la misma institución. vadls@hotmail.com

Plan de Producción para la empresa “Repostería Artesanal Juanita” de Misantla, apoyado en la Programación Lineal.

Keila Madai Morales Duran, Ing.¹, Ing. Laura Rebeca Sesma Barradas², M.I.I. Gabriel Grosskelwing Núñez³, Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, Dr. Saúl Santiago Cruz⁵

¹ Keila Madai Morales Duran, Ingeniero, es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. keila.madai01@gmail.com

² La Ingeniero. Laura Rebeca Sesma Barradas, es alumna de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. laurarebecasesma@gmail.com

³ El Maestro. Gabriel Grosskelwing Núñez, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

⁴ El Doctor. Gregorio Fernández Lambert, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx

⁵ El Doctor. Saúl Santiago Cruz, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ssantiagooc@itsm.edu.mx.

Resumen— En este trabajo se utilizó la Programación Lineal para maximizar la ganancia bruta en la empresa de “Repostería Artesanal Juanita”, perteneciente a la región de Misantla, Veracruz. Las empresas que se dedican a la elaboración de repostería en esta región trabajan normalmente de forma artesanal, por lo cual se propone con este procedimiento resolver el problema de la planeación de la producción en este negocio.

La empresa de “Repostería Artesanal Juanita” en su línea de producción oferta veinte productos, de los cuales se analizaron tres principales productos de mayor demanda que son Panquecitos, Masafinas y Galletas de Nata. Como resultado se obtuvo que la Programación Lineal ayudó a modelar dos escenarios a los que puede enfrentarse la empresa de “Repostería Artesanal Juanita”, los escenarios planteados se basan en el pronóstico de la demanda de cada producto por lo cual se analiza la demanda mínima y la demanda máxima.

Palabra(s) clave— Repostería Artesanal, Programación Lineal, Planeación de la Producción, Toma de Decisiones, Pronóstico de Demanda, Intervalos de Confianza.

Abstract – Linear Programming was used in this work to maximize gross profit in the company of "Pastry Craft Juanita", belonging to the region Misantla, Veracruz. Companies engaged in the preparation of pastries in this region normally work by hand, so it is proposed this procedure to solve the problem of production planning in this business.

The company "Artisan Pastry Juanita" in its product line offering twenty products, of which three main products most in demand are muffins, cookies Nata Masafinas and analyzed.

As a result it was found that the linear programming helped shape two scenarios that may confront the company "Pastry Craft Juanita", the proposed scenarios are based on the forecast demand for each product for which the minimum demand is analyzed and peak demand.

Key words – Artisan bakery, Linear Programming, Production Planning, Decision Making, Demand Forecasting, Confidence Intervals.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de maximizar las ganancias brutas de la empresa de “Repostería Artesanal Juanita” dedicada a la elaboración de productos de repostería, la cual trabaja de manera artesanal en el Municipio de Misantla, Veracruz, utilizando para lograr este fin la Programación Lineal.

La Programación Lineal (PL) es una de las principales ramas de la Investigación Operativa. En esta categoría se consideran todos aquellos modelos de optimización donde las funciones que lo componen, es decir, función objetivo y restricciones, son funciones lineales en las variables de decisión. Corresponde a un algoritmo a través del cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos

En un problema de planificación de la producción donde la incertidumbre de los parámetros juega un papel importante, la herramienta de apoyo para la toma de decisiones debe seleccionarse de manera que le facilite al usuario tomar la decisión adecuada y responder a los posibles imprevistos que surjan.

En este trabajo se presenta una propuesta de solución al problema de cuanto producir para obtener ganancias máximas en la industria artesanal considerando los insumos requeridos y la demanda de los mismos (Gomez Herrera, Figueroa Cabrera, & Escobar John, 2013), para ello se empleó la Programación Lineal para determinar el número de lotes a producir de los principales productos que son: Panquecitos, Masafinas y Galletas de Nata. Para ello fue necesario determinar los intervalos de confianza para realizar el pronóstico de la demanda, lo cual permite incorporar de forma explícita el impacto que tiene la incertidumbre en la planificación de las actividades comerciales y operacionales de una empresa.

El Panquecito es un producto de repostería elaborado con pan dulce a base de harina y leche, el cual se ha logrado posicionar como el principal producto que la empresa oferta debido a que es el que mayor demanda tiene, incluso en los periodos donde la demanda de los productos es más baja.

La Masafina es un producto hecho a base de harina y manteca vegetal, es una galleta porosa con un sabor dulce por su alto contenido en azúcar.

Las Galletas de Nata son unas galletas suaves y ligeras con un intenso sabor a nata, están elaboradas a base harina y de nata de leche de vaca.

2. Desarrollo

La producción de Repostería Artesanal en el estado de Veracruz ha representado siempre una alternativa factible para las familias que trabajan de manera tradicional. En el caso específico de la empresa de “Repostería Artesanal Juanita” del municipio de Misantla, inicialmente se analizaron los 20 productos que la empresa oferta en el mercado, de entre los cuales se detectó que los principales productos de mayor demanda que la empresa tiene son: Panquecitos, Masafinas y Galletas de Nata.

Se realizó un análisis de demanda de los tres productos seleccionados para identificar los periodos con mayor demanda y los que menor demanda tienen, en este análisis se determinó la demanda de cada producto durante el periodo del año 2015 (Ver Tabla 1, 2 y 3), se puede observar que la demanda viene marcada por periodos, siendo los meses de mayor demanda de septiembre a febrero, por otra parte los meses en los que menor demanda tienen estos productos son en los periodos de marzo-agosto.

Panquecitos	
Periodo	Demanda (pzas.)
Enero	60000
Febrero	75000
Marzo	54000
Abril	38000
Mayo	15000
Junio	7500
Julio	7500
Agosto	9000
Septiembre	22500
Octubre	25000
Noviembre	60000
Diciembre	95000

Tabla 1.- Demanda de Panquecitos durante el año 2015.

Masafinas	
Periodo	Demanda (pzas.)
Enero	35000
Febrero	40000
Marzo	28000
Abril	25000
Mayo	16000
Junio	9000
Julio	6000
Agosto	17000
Septiembre	22000
Octubre	28000
Noviembre	35000
Diciembre	42000

Tabla 2.- Demanda de Masafinas durante el año 2015.

Galletas De Nata	
Periodo	Demanda (pzas.)
Enero	25000
Febrero	28000
Marzo	26000
Abril	22000
Mayo	21000
Junio	17500
Julio	16500
Agosto	17500
Septiembre	18500
Octubre	21500
Noviembre	25000
Diciembre	26000

Tabla 3.- Demanda de Galletas de Nata durante el año 2015.

Para la elaboración de estos productos se requieren de ciertos insumos que se muestran en la siguiente tabla (Ver Tabla 4), las proporciones utilizadas de cada insumo se muestran por lote y cada uno de los lotes de productos consta de 250 piezas.

Insumo	Panquecitos	Masafinas	Galletas de Nata
Aceite	250 ml / 1 lote	250 ml / 1 lote	250 ml / 1 lote
Azúcar	250 gr / 1 lote	300 gr / 1 lote	200 gr / 1 lote
Harina	200 gr / 1 lote	300 gr / 1 lote	300 gr / 1 lote
Huevos	4 pzas. / 1 lote	6 pzas. / 1 lote	--
Leche	250 ml / 1 lote	300 ml / 1 lote	--
Nata	--	--	250 gr / lote
Royal	5 gr / 1 lote	--	--
Vainilla	5 ml / 1 lote	--	--

Tabla 4.- Insumos utilizados en la elaboración de los productos por lote (250 pzas).

Los precios de los insumos se muestran en la siguiente tabla (Ver Tabla 5).

Aceite	Azúcar	Harina	Huevos	Leche	Nata	Royal	Vainilla
\$23/l	13/kg	\$10/kg	\$1.5/pza	\$13/l	\$10/kg	\$30/kg	\$18/l

Tabla 5.- Precio de los insumos en el mercado.

La disponibilidad de los insumos por día se muestra en la siguiente tabla (Ver Tabla 6).

Aceite (l)	Azúcar (Kg)	Harina (Kg)	Huevos (pzas)	Leche (l)	Nata (Kg)	Royal (Kg)	Vainilla (l)
10	10	10	60	10	5	1	3

Tabla 6.- Disponibilidad de insumos por día.

En la tabla siguiente se muestran las contribuciones de los productos por lote a la ganancia del negocio (Ver Tabla 7).

	Panquecitos (\$/lote)	Masafina (\$/lote)	Galleta de Nata (\$/lote)
Contribución	229.51	224.45	236.15

Tabla 7.- Ganancia bruta por lote (250 pzas).

Método.

El motivo de este trabajo es plantear un modelo de Programación Lineal que permita estimar la cantidad óptima de lotes de producción de cada uno de los productos seleccionados que garantice la máxima ganancia, sin violar las restricciones y capacidades propias del negocio.

Se realizó una búsqueda de los precios de los insumos utilizados en la elaboración de los productos en el mercado nacional y se investigó el precio corriente de los tres productos analizados, posteriormente, mediante una diferencia aritmética se determinó la ganancia bruta:

$$\text{Ganancia Bruta} = \text{Precio de Venta} - \text{Costo de Insumo}$$

La función objetivo de este planteamiento es maximizar la ganancia bruta, dicha función queda definida de la siguiente manera (Ver Ecuación 1).

$$\text{Max } z = 229.51x_1 + 224.45x_2 + 236.15x_3 \text{ Ecuación (1)}$$

Dónde:

X1= Es el número de lotes de Panquecitos

X2= Es el número de lotes de Masafina

X3= Es el número de lotes de Galletas de Nata

El aceite se encuentra disponible en una cantidad de 10 litros por día, todo el año, por lo que la restricción de aceite queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 2).

$$250x_1 + 250x_2 + 250x_3 \leq 10000 \text{ Ecuación (2)}$$

El azúcar está disponible en una cantidad de 10 kilogramos por día, todo el año, por lo que la restricción de azúcar queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 3).

$$250x_1 + 300x_2 + 200x_3 \leq 10000 \text{ Ecuación (3)}$$

La harina tiene una disponibilidad de 10 kilogramos por día, todo el año, por lo que la restricción de azúcar queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 4).

$$200x_1 + 300x_2 + 300x_3 \leq 10000 \text{ Ecuación (4)}$$

Los huevos están disponibles en una cantidad de 60 piezas por día, todo el año, por lo que la restricción de huevos queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 5).

$$4x_1 + 6x_2 \leq 60 \text{ Ecuación (5)}$$

La leche está disponible en una cantidad de 10 litros al día, todo el año, por lo que la restricción de leche queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 6).

$$250x_1 + 300x_2 \leq 10000 \text{ Ecuación (6)}$$

La nata está disponible en una cantidad de 5 kilogramos por día, todo el año, por lo que la restricción de nata queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 7).

$$250x_3 \leq 5000 \text{ Ecuación (7)}$$

El royal está disponible en una cantidad de 1 kilogramos por día, todo el año, por lo que la restricción de royal queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 8).

$$5x_1 \leq 1000 \text{ Ecuación (8)}$$

La vainilla está disponible en una cantidad de 3 litros por día, todo el año, por lo que la restricción de vainilla queda de la siguiente manera (Ver Ecuación 9).

$$5x_1 \leq 3000 \text{ Ecuación (9)}$$

De acuerdo a los datos obtenidos de la empresa se realizó un análisis de demanda, mediante el cual se detectan dos periodos de demanda un periodo mínimo y otro máximo, los cuales son la base para la modelación de los escenarios empleados en el modelo. Debido a lo anterior se modela la incertidumbre de la demanda con restricciones estimadas mediante intervalos de confianza, lo cual representa la incertidumbre de la demanda.

Escenario 1 periodo de demanda mínima (Ver Ecuación 10, 11 y 12).

$$x_1 \leq 0 + (1 - \lambda) \text{ 64 Ecuación (10)}$$

$$x_2 \leq 32 + (1 - \lambda) \text{ 76 Ecuación (11)}$$

$$x_3 \leq 63 + (1 - \lambda) \text{ 79 Ecuación (12)}$$

Escenario 2 periodo de demanda mínima (Ver Ecuación 13, 14 y 15).

$$x_1 \leq 323 + (1 - \lambda) \text{ 456 Ecuación (13)}$$

$$x_2 \leq 139 + (1 - \lambda) \text{ 224 Ecuación (14)}$$

$$x_3 \leq 97 + (1 - \lambda) \text{ 126 Ecuación (15)}$$

En donde lambda ($\lambda = 0.5$); la cual representa el grado de pertenencia al límite inferior del intervalo de confianza.

3. Resultados

Considerando la demanda analizada durante el año 2015 se determinaron los intervalos de confianza para cada uno de los productos, los cuales fueron utilizados para modelar los diferentes escenarios del modelo de programación, se hizo uso del software RStudio para realizar los cálculos de intervalos de confianza de un 95% para cada uno de los productos seleccionados.

Intervalo de confianza de un 95% para los Panquecitos:

```
fit lwr upr
1 69.712454 53.1097823 86.31513
2 61.400766 51.3347132 71.46682
3 49.870296 40.2469263 59.49367
4 36.916306 26.9631320 46.86948
5 24.334055 15.0088264 33.65928
6 13.918803 5.4651367 22.37247
7 7.465812 -0.9878548 15.91948
8 6.770341 -2.5548877 16.09557
9 13.627650 3.6744763 23.58082
10 29.833000 20.2096303 39.45637
11 57.181652 47.1155990 67.24770
12 97.468864 80.8661926 114.07154
```

Intervalo de confianza de un 95% para las Masafinas:

```
fit lwr upr
1 40.64103 29.992783 51.28927
2 33.25641 26.800475 39.71235
3 26.68298 20.510966 32.85500
4 21.17172 14.788178 27.55526
5 16.97358 10.992780 22.95438
6 14.33955 8.917729 19.76137
7 13.52059 8.098771 18.94241
8 14.76768 8.786875 20.74848
9 18.33178 11.948240 24.71532
10 24.46387 18.291852 30.63589
```

```
11 33.41492 26.958983 39.87085
12 45.43590 34.787655 56.08414
```

Intervalo de confianza de un 95% para las Galletas de Nata:

```
fit lwr upr
1 27.02015 23.37267 30.66762
2 25.87979 23.66836 28.09122
3 24.28988 22.17570 26.40405
4 22.48157 20.29494 24.66821
5 20.68604 18.63736 22.73471
6 19.13442 17.27722 20.99162
7 18.05789 16.20068 19.91509
8 17.68759 15.63891 19.73627
9 18.25469 16.06806 20.44132
10 19.99034 17.87617 22.10452
11 23.12571 20.91428 25.33714
12 27.89194 24.24447 31.53941
```

Posteriormente en base a los resultados obtenidos se realizó la modelación de dos escenarios, en el primer escenario se considera la demanda mínima obtenido en los intervalos de confianza, mientras que en el segundo escenario es considerada la demanda máxima de los productos. Dicha demanda en los dos escenarios es considerada como restricciones estimadas mediante intervalos en código difuso en el software RStudio.

Escenario 1 (periodo mínimo)

```
> obj<-c(229.51,224.45,236.15)
>restricciones<matrix(c(250,250,250,250,300,200,200,300,300,4,6,0,250,300,0,0,0,250,5,0,0,5,0,0,1,0
,0,0,1,0,0,0,1),nrow = 11,byrow = TRUE)
> restricciones

[,1] [,2] [,3]
[1,] 250 250 250
[2,] 250 300 200
[3,] 200 300 300
[4,] 4 6 0
[5,] 250 300 0
[6,] 0 0 250
[7,] 5 0 0
[8,] 5 0 0
[9,] 1 0 0
[10,] 0 1 0
[11,] 0 0 1

> signo<-c("<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=")
> rhs<-c(10000,10000,10000,60,10000,5000,1000,3000,0,32,63)
> t<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,64,76,79)
>
FCLP.sampledBeta(objective =
obj,A=restricciones,dir=signo,b=rhs,t=t,min=0,max=1,step=0.1,maximum = TRUE)
```

	beta	x1	x2	x3	objective
[1,]	0.0	15.0	0.000000	20	8165.650
[2,]	0.1	15.0	0.000000	20	8165.650
[3,]	0.2	15.0	0.000000	20	8165.650
[4,]	0.3	15.0	0.000000	20	8165.650
[5,]	0.4	15.0	0.000000	20	8165.650
[6,]	0.5	15.0	0.000000	20	8165.650
[7,]	0.6	15.0	0.000000	20	8165.650
[8,]	0.7	15.0	0.000000	20	8165.650
[9,]	0.8	12.8	1.466667	20	7989.921
[10,]	0.9	6.4	5.733333	20	7478.711
[11,]	1.0	0.0	10.000000	20	6967.500

Tabla 8.-Resultados de periodo mínimo.

```

Escenario 2 (periodo máximo)
> obj<-c(229.51,224.45,236.15)
>restricciones<-
matrix(c(250,250,250,250,300,200,200,300,300,4,6,0,250,300,0,0,0,250,5,0,0,5,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1),n
row= 1,byrow = TRUE)
> restricciones
[1,] [2,] [3,]
[1,] 250 250 250
[2,] 250 300 200
[3,] 200 300 300
[4,] 4 6 0
[5,] 250 300 0
[6,] 0 0 250
[7,] 5 0 0
[8,] 5 0 0
[9,] 1 0 0
[10,] 0 1 0
[11,] 0 0 1
> signo<-c("<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=", "<=")
> rhs<-c(10000,10000,10000,60,10000,5000,1000,3000,323,139,97)
> t<-c(0,0,0,0,0,0,0,0,456,224,126)
> FCLP.fixedBeta(objective = obj,A=restricciones,dir=signo,b=rhs,t=t,beta=0.5,maximum = TRUE)
[1] "Solution is optimal."
beta x1 x2 x3 objective
[1,] 0.5 15 0 20 8165.65
>
FCLP.sampledBeta(objective
obj,A=restricciones,dir=signo,b=rhs,t=t,min=0,max=1,step=0.1,maximum = TRUE)

```

	beta	x1	x2	x3	objective
[1,]	0.0	15	0	20	8165.65
[2,]	0.1	15	0	20	8165.65
[3,]	0.2	15	0	20	8165.65
[4,]	0.3	15	0	20	8165.65
[5,]	0.4	15	0	20	8165.65
[6,]	0.5	15	0	20	8165.65
[7,]	0.6	15	0	20	8165.65
[8,]	0.7	15	0	20	8165.65
[9,]	0.8	15	0	20	8165.65
[10,]	0.9	15	0	20	8165.65
[11,]	1.0	15	0	20	8165.65

Tabla 9.- Resultados de periodo máximo.

Los resultados obtenidos mediante R Studio ofrece la siguiente información:

Con esta solución relajada, a recomendación expresa del modelo se considera cubrir menos o igual de la demanda, con el objeto de cubrir las restricciones planteadas para lograr una ganancia bruta óptima y factible.

Para lograr se deben vender 15 lotes de Panquecitos y 20 lotes de Galletas de nata por día. (Variables de decisión).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 10 000 mililitros de aceite (Restricción 2).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 10 000 gramos de azúcar (Restricción 3).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 10 000 gramos de harina (Restricción 4).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 60 huevos (Restricción 5).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 10 000 mililitros de leche (Restricción 6).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 5 000 gramos de nata (Restricción 7).

Se deben tener disponibles diariamente por lo menos 1000 gramos de royal (Restricción 8).

Se debe tener disponibles diariamente por lo menos 3 000 mililitros de vainilla (Restricción 9).

Se concluye que para obtener una ganancia máxima diaria de \$8165.65 pesos se deben producir 15 lotes de Panquecitos y 20 lotes de Galletas de Nata. El modelo determina que cuando se comienza a producir lotes de Masafinas las ganancias comienzan a disminuir, por tanto no se recomienda a la empresa de Repostería Artesanal Juanita producir Masafinas.

4. Conclusiones

El uso de la Programación Lineal en la planeación de la producción en la empresa de “Repostería Artesanal Juanita” del municipio de Misantla, permitió plantear posibles escenarios en los cuales los productores están inmersos, como son variaciones en la demanda, cambios abruptos de los precios de los insumos, etc. Así como también planificar de manera eficiente su producción y permitió conocer los ingresos brutos que se obtendrían si se cumple el plan de producción.

La Programación Lineal ha permitido modelar dos posibles escenarios inherentes al proceso de producción de Repostería Artesanal, de ahí la utilidad de esta técnica para optimizar la producción en áreas donde normalmente no se utiliza dado que la elaboración de estos productos, y que en lo general, se realiza de manera artesanal por parte de la empresa.

El presente trabajo aporta un enfoque de ingeniería para la empresa, el cual muestra que se cuenta con información que facilita la toma de decisiones, en diversos escenarios que se suscitan en dicha empresa.

La capacidad instalada de la empresa consta de un Horno de 6 charolas, debido a que en cada periodo la demanda de los productos aumenta puede suscitarse el inconveniente de no poder cubrir la demanda en periodos futuros, debido a la capacidad de producción, lo cual representa un problema que se abordará en trabajos futuros.

5. Referencias

Taha, H., Investigación de Operaciones., Séptima edición, Editorial Pearson, (2004).

Winston, W., Investigación de Operaciones: Aplicaciones y algoritmos., Séptima edición, Editorial Thomson (2005).

Triola, M. F. Estadística. Pearson educación (2004).

Montgomery, D. C., Bermúdez Rojas, T., Walker, H. M., Maisel, L., Arley, N. B., Maddala, G. S. & CWilkinson, R. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería Applied statistics and probability for engineers (2006).

Caiazza, F, et al. Fuzzy Performance Evaluator of AMSS. Design of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 1, Spriger, Netherlands, 005, pp. 233-267.

Arango s., Martin d.; Uran s., agosto; Pérez o., Giovanni. (2008). Aplicaciones de lógica difusa a las cadenas de suministro. Avance en Sistemas e Informática, Vol. 5, N° 3.

Winston, W., Investigación de Operaciones: Aplicaciones y algoritmos., Séptima edición, Editorial Thomson, 2005

6. Notas Biográficas

La **Ing. Keila Madai Morales Duran**. Este autor es ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente es alumna del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de la misma institución.

La **Ing. Laura Rebeca Sesma Barradas**. Este autor es ingeniero en Gestión Empresarial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente es alumna del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de la misma institución. El **MII. Gabriel Grosskelwing Núñez** es Maestro en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert** es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Dr. Saúl Santiago Cruz** es Dr. en Medio Ambiente por la Universidad del Noreste de Tampico, Tamaulipas, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Planeación Sistemática de la Distribución y Problema de Asignación Cuadrática aplicada a una Panadería

Gema del C. Jiménez Gómez, Ing.¹, Dr. Isidro Rodríguez Montoro², Dr. Gregorio Fernández Lambert³,
MII. Margarito Landa Zarate⁴, Dr. Juan Manuel Carrión Delgado⁵.

¹Gema del C. Jiménez Gómez, Ingeniero Industrial, estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial, es profesora de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Alvarado, Veracruz. gemajimgo@gmail.com.

²Dr. en Administración y Desarrollo Empresarial. ²Isidro Rodríguez Montoro, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. irodriguezsm@itsm.edu.mx.

³Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. ³Gregorio Fernández Lambert, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx.

⁴Margarito Landa Zarate, Maestro en Ingeniería Industrial, coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. mlandaz@itsm.edu.mx.

⁵Juan Manuel Carrión Delgado, es profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Xalapa, Veracruz. carriodel@hotmail.com.

Resumen—Las disposiciones de distribución de planta forman parte de cualquier proceso estratégico para su producción, determinar el lugar más adecuado de los equipos de trabajo ayuda a minimizar los riesgos laborales y a optimizar los tiempos de transformación de la materia prima. Las decisiones estratégicas en cualquier empresa llevan consigo un gran número de factores que tienen un impacto operacional en sus instalaciones.

En el sistema de producción de la panadería La Loma se tienen distancias largas en el área de producción; causado por la inadecuada distribución que existe, lo que ocasiona que se incrementen los tiempos de producción. Siendo este el motivo principal que conlleva a la realización de éste artículo, donde a partir de esta problemática se propone realizar un diseño de la distribución física de la panadería. Para el desarrollo se realizó un análisis de la situación actual de la panadería y así conocer la problemática inmersa en la misma, pudiendo dar una solución a la misma aplicando las metodologías QAP (Problema de Asignación Cuadrática) y SLP (Planeación Sistemática de la Distribución).

Palabra(s) clave—Distribución de planta, QAP, SLP

Abstract –.The dispositions of plant distribution are part of any strategic process for its production, determine the most appropriate place of work teams helps to minimize the labor risks and optimize the raw material transformation times. The strategic decisions in any company carry a large number of factors that have an operational impact on their facilities.

In the production system of the bakery La Loma there are long distances in the production area; caused by the bad distribution that exists, which causes an increase production times. This being the main reason that leads to the realization of this article, where from this problem it is proposed to make a physical layout design of the bakery. For the development a current situation analysis of the bakery was performed and so to know the problems immersed in it, providing a solution to the same by applying the methodologies QAP (Quadratic Assignment Problem) and SLP (Systematic Layout Planning).

Key words—Distribution plant, QAP, SLP

1. Introducción

“La distribución del centro de trabajo es parte esencial dentro del diseño de una planta industrial ya que determina la ubicación de los departamentos, de las estaciones de trabajo, de las máquinas y de los lugares de almacenamiento dentro de una unidad productiva; así como la asignación de los espacios correspondientes a éstas áreas en base a las relaciones existentes entre ellas y al flujo de información y materiales” (Delgado J. J., 2006). El realizar un análisis de la distribución de planta se hace compleja ya que existe una gran cantidad de factores que se deben tomar en cuenta para que los movimientos sean flexibles (por ej. giro de la empresa, distribución de mercancía, tipo de maquinaria y demanda). Dentro del sistema de producción de las panaderías surgen problemas que están implícitos y no han sido estudiados, como lo son las distancias largas entre las estaciones de trabajo, las cuales son causadas por la inadecuada distribución de un área con la otra, lo que ocasiona que se maximice el tiempo total de fabricación. Así mismo se desarrolla un gestionamiento en los

pasillos, porque el flujo de material fluye de manera cruzada y esto ocasiona que el proceso no opere en óptimas condiciones de trabajo. Es fundamental realizar un estudio que permita integrar la relación de los factores para optimizar el proceso de producción del pan. Para la distribución física de la panadería nos surge el siguiente cuestionamiento: Si una óptima distribución física en la panadería ayudará a aprovechar los espacios disponibles y a reducir las distancias recorridas durante todo el proceso de elaboración del pan. Este proyecto de investigación pretende aportar un diseño de una distribución de planta que permita el aprovechamiento de los espacios, así como la reducción de las distancias recorridas durante la elaboración del pan. Para poder llevar a cabo esta resolución se levantó información con base a datos proporcionados de la dueña de la panadería y también por medio de la observación, tomas de tiempos, localización de las áreas, distancias existentes entre las áreas, relación de las áreas, análisis del sistema de producción, equipo y maquinaria utilizada, manejo de materiales entre otros.

Luego se realizó un estudio sobre los gurús más importantes en temas relacionados con la distribución de planta. Posteriormente se analizan las metodologías estudiadas como lo son QAP (Problema de asignación cuadrática) y SLP (Planeación Sistemática de la Producción), para ser aplicadas al caso de estudio. Dadas las soluciones de cada metodología se someten a una comparación de resultados que hacen posible la decisión sobre la elaboración de un diseño de la distribución física de la panadería “La Loma” que muestra el aprovechamiento de los espacios disponibles, así como la reducción de las distancias recorridas del manejo de materiales hasta el empaquetado.

2. Desarrollo

Método

La gastronomía en todos los rincones de México forma parte de nuestras tradiciones, sin lugar a duda la panadería ha (constituido representado) parte de nuestra historia artesanal, pues un gran número de familias mexicanas depende del trabajo gastronómico del pan, pues hoy en día las empresas destinadas a este giro son fuentes de empleo de un 62.5%. Por tal motivo el presente proyecto se inspira en una aplicación de la ingeniería industrial como lo es la distribución de planta diseñada para la panadería “La Loma” ubicada en la ciudad de Alvarado, Veracruz.

La mayoría de las plantas se diseñan de forma eficiente cuando empiezan su funcionamiento, pero a medida que el tiempo transcurre y que la organización crece, ésta debe adaptarse a cambios internos y externos, por diferentes causas. Para encontrar la distribución adecuada de la panadería “La Loma”, se propone utilizar dos métodos para la solución del problema, como lo son el método QAP el cual se utilizará para encontrar la localización más óptima para las áreas de trabajo, así como para las máquinas y herramientas a utilizar. Y el otro método es el SPL, que busca la minimización de las distancias recorridas por los materiales, la estructuración lógica de los procesos, minimización del espacio necesario.

Los pasos que se proponen para dicha investigación se basan en (Yin, 2003) quien define el estudio del caso en una investigación que se caracteriza por estudiar los fenómenos en su propio contexto, utilizando múltiples fuentes de evidencia, con el fin de poder explicar el fenómeno observado de forma global y teniendo en cuenta toda su complejidad.

La metodología diseñada para la generación de la distribución de la panadería se presenta en la figura 1.



Figura 1. Metodología utilizada para el estudio de caso

Según (Mastretta, 2008), un sistema de producción de bienes o de servicios es el proceso de conversión por medio del cual los insumos (inputs o entradas), se transforman en productos o servicios (outputs o salidas), que son útiles para los clientes o usuarios, la información se presenta en la Figura 1.

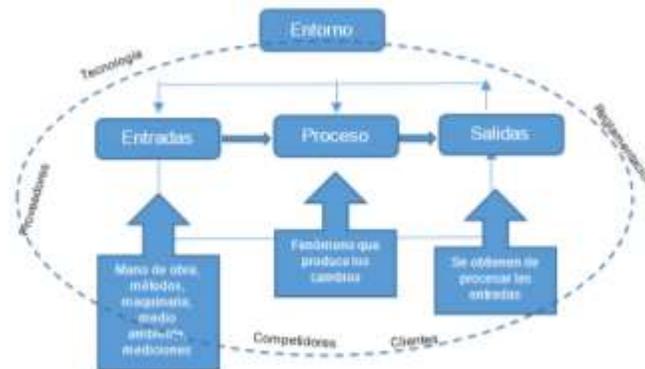


Figura 2. Diagrama de Sistema de producción. (Mastretta, 2008)

El objetivo de esta investigación fue haber analizado las herramientas que son de gran utilidad para el diseño de la distribución física de la panadería “La Loma” en la ciudad de Alvarado, esto nos permitió decidir por los métodos SLP y QAP. Una de las metas importantes de un sistema de producción es lograr la máxima satisfacción del cliente.

El objetivo de muchos métodos de distribución por proceso es ubicar los centros de trabajo que tengan gran interacción, de tal modo que queden cerca unos de otros, lo cual dará lugar a un flujo mínimo de materiales (o personal) a centros de trabajo que no están cercanos. Algunos métodos para diseñar distribuciones por proceso subrayan la cantidad de material que se mueve y en la distancia que recorre. Otros métodos incorporan menos metas cuantitativas por la utilización del criterio de proximidad. A continuación, se muestran métodos de diseño de distribuciones:

- Método de análisis de secuencia (sequence analysis) de Buffa
- Metodología de Reed
- Metodología del enfoque de sistemas ideales (ideal systems approach) de Nadler
- Metodología de Apple
- Metodología de la Planeación Sistemática de la Distribución en Planta (SLP) de Muther
- Problema de Asignación Cuadrática (QAP)

Metodología de la Planeación Sistemática de la Distribución en Planta (SLP) de Muther

Esta metodología conocida como SLP por sus siglas en inglés, ha sido la más aceptada y la más comúnmente utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos, aunque fue concebida para el diseño de todo tipo de distribuciones en planta independientemente de su naturaleza. Fue desarrollada por Richard Muther en 1961 como un procedimiento sistemático multicriterio, igualmente aplicable a distribuciones completamente nuevas como a distribuciones de plantas ya existentes. El método (resumido en la Fig. 2) reúne las ventajas de las aproximaciones metodológicas precedentes e incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución, organizando el proceso de planificación total de manera racional y estableciendo una serie de fases y técnicas que, como el propio Muther describe, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos (Muther, 1968).

Como puede apreciarse en la Figura 2, el diagrama brinda una visión general del SLP, aunque no refleja una característica importante del método: su carácter jerárquico, lo que indica que este debe aplicarse en fases jerarquizadas en cada una de las cuales el nivel de detalle es mayor que en la anterior.

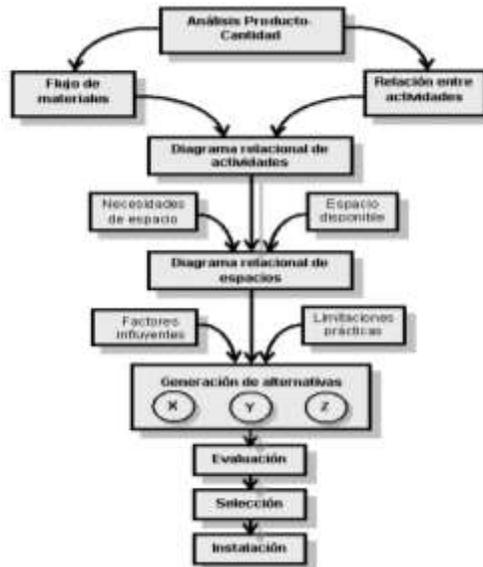


Figura 2. Esquema de la planeación sistemática de la planeación en planta. Fuente:(Muther, 1968)

Distribución de planta

Según (Meller R. y Gau K, 1996) el problema de distribución de planta debe encontrar el arreglo más eficiente de m departamentos indivisibles con requerimientos de área desigual, dentro de una planta (o instalaciones). El problema de distribución detallada incluye problemas de distribución de líneas de flujo, problemas de distribución de máquinas, y problemas de diseño de células de manufactura, en donde se asume que las máquinas tienen área igual o dimensiones fijas. (Meller R. y Gau K, 1996).

(Meller R. y Gau K, 1996). (Muther, R., 1981), han formulado, seis principios que, aunque están orientados en mayor medida a las plantas industriales, presentan bases igualmente válidas para cualquier otro tipo de instalaciones.

- 1) Integración conjunta de todos los factores que afectan la distribución.
- 2) Movimiento del material según distancias mínimas.
- 3) Circulación del trabajo a través de la planta.
- 4) Utilización efectiva de todo el espacio.
- 5) Satisfacción y seguridad de los trabajadores.
- 6) Flexibilidad de distribución para facilitar reajustes.

Estructura operativa del pan

El mapeo de cadena de valor muestra una fotografía de cómo se encuentra la empresa actualmente, así como también hacia donde se quiere llegar; esta herramienta muestra donde existen inventarios, sobreproducción, tiempos de espera, transporte, movimientos, fallas de calidad y reprocesamientos, entre otros, lo anterior mencionado, son costos que influyen en la fugas de capital y el evitar esto se vuelve primordial para la estabilidad de una organización, al igual que un mejor control y monitoreo de todas las etapas que el producto necesita para su transformación. (Delgado J. M., 2011).

Para la integración del mapa de la cadena de valor de la panadería, se realizó un análisis del estado actual del proceso, el cual servirá para visualizar las fuentes de desperdicio existentes, así como crear una visión clara de la mejora del proceso.

En la Tabla 1 se presenta un diagrama de flujo de proceso de la panadería.

		Resumen			
Actividad: Elaboración de pan		Actividad	Actual	Propuestos	Ahorro
Fecha: 20 de Mayo de 2016		Operación	12		
Operador: P.J.M	Analista: G.C.J.G.	Transporte	9		
Método a utilizar: Actual Propuesto		Demora	0		
		Inspección	0		
		Almacenaje	1		
Comentarios:		Tiempo	447 min		
		Distancia			
		Costo			
Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (min)	Distancia	Método recomendado	
Recepción de materia prima					
Pesado de la materia prima		20			
Traslado de la materia prima al área de amasado		1			
Amasado de materia prima		25			
Traslado de masa a área de pesado		1			
Corte de masa según pieza a formar		30			
Traslado de masa cortada a mesa de formación		1			
Formación de piezas		90			
Ir en busca de las charolas (ida y vuelta)		2			
Limpiar y engrasar las charolas		5			
Acomodar las piezas formadas (pan) en las charolas		5			
Ir por material para el barnizado de las piezas (ida y vuelta)		1			
Barnizado del producto		5			
Traslado de charolas al área de espera para fermentación		2			
Fermentación		180			
Traslado de charolas al horno		5			
Cocción del pan		40			
Retiro de charolas del horno		10			
Traslado de charolas al área de desmolde y empaque		5			
Desmolde de pan		10			
Empaque		15			

Tabla1. Diagrama de flujo de proceso de la panadería “La Loma”. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de las operaciones se integra en el siguiente mapeo la cadena de valor de la situación actual que prevalece en la panadería. Cabe mencionar que el siguiente mapeo se obtuvo observando todo el proceso con la ayuda del diagrama de flujo. En la tabla 3 se representa la cantidad de movimientos y las distancias de recorrido entre las áreas.

Áreas	Cantidad de Movimientos	Distancia en metros	Total
Refrigerador-Amasadoras	2	2	4
Refrigerador-Báscula	3	3	9
Refrigerador-Cocina	4	8	32
Amasadora-Refrigerador	2	2	4
Amasadora-Báscula	3	3	9
Amasadora-Anaquele de M.P.	1	3	3
Amasadora-Mesas de Trabajo	3	4	12
Amasadora-Porta garrafón 1	1	4	4
Horno de Microondas-Cocina	2	9	18
Báscula-Refrigerador	2	2	4
Báscula-Amasadora	3	3	9
Báscula-Anaquele de M.P.	2	4	8
Anaquele de M.P.-Amasadora	1	3	3
Anaquele de M.P.-Báscula	2	4	8
Anaquele de M.P.-Mesas de Trabajo	3	3	9
Anaquele Desechables-Mesas de Trabajo	3	2	6
Mesas de Trabajo-Amasadoras	2	4	8
Mesas de Trabajo-Anaquele de M.P.	2	3	6
Mesas de Trabajo-Anaquele Desechables	2	2	4
Mesas de Trabajo-Espigueros	26	3	78
Mesas de Trabajo-Cocina	5	7	35
Espigueros-Horno de Convección	4	2	8
Horno de Convección-Espigueros	4	2	8
Porta garrafón 1-Amasadoras	2	4	8
Porta garrafón 1-Mesas de trabajo	1	2	2
Porta garrafón 2-Cocina	5	4	20
Cocina-Refrigerador	4	8	32
Cocina-Báscula	2	7	14
Cocina-Anaquele M.P.	1	8	8
Cocina-Mesas de trabajo	5	7	35
Cocina-Porta garrafón 2	5	4	20
	Total		428 m.

Tabla 2. Distancias realizadas de un área a otra

Asignación Cuadrática (QAP)

Según (Heregu, 2006) y (Konz, 1991), QAP es el modelo matemático más usado para Distribución de Plantas creado por Koopman y Beckman en 1957. Se considera un caso especial del modelo de diseño de Distribuciones Físicas, ya que asume que todos los departamentos tienen áreas iguales y que las locaciones se conocen desde antes de resolver el modelo.

Este método asigna un departamento a cada locación disponible y debe tener un número igual de departamentos y locaciones para asignación, en caso de que no sean igual se debe crear departamentos o locaciones con flujos 0 para no afectar el diseño. Esta clase de modelo tiene un grado más complejo de resolver cuando se tienen más de 18 departamentos, ya que la formulación matemática se vuelve muy compleja al tener que generar como mínimo $18 \times 18 = 324$ funciones objetivo en hojas de cálculo en forma manual.

Este modelo puede ser usado en el diseño de la distribución física de fábricas con departamentos de diferentes áreas al dividir esas áreas en departamentos de áreas iguales, sin embargo, esta división incrementa el número de departamentos del problema. QAP busca minimizar la distancia total recorrida bajo la fórmula de multiplicar la distancia por la cantidad de movimientos entre cada lugar asignado.

Según (Heregu, 2006), la Carta From-To es una herramienta muy eficiente ya que en ella se cuantifica también la distancia del recorrido de cada producto. Es una tabla donde se colocan las estaciones en filas y columnas, creando una tabla simétrica. Las columnas siempre son la salida, y las filas la llegada. En cada

casillero "de" una estación "a" otra se cuantifica la cantidad de movimientos que se realizan por unidad de tiempo y se lo multiplica por la distancia recorrida. Todos los casilleros de filas y columnas se suman, dando un total de movimientos. La tabla 4 representa un ejemplo de Carta From-to.

	A	B	C	D	E
A	X			8	2
B		X			
C			x		
D	80			x	
E	40				x

Tabla 3. Ejemplo de Carta From-to. Fuente: (Heregu, 2006)

3. Resultados

Análisis de la distribución de planta mediante Q.A.P.

El Q.A.P o problema de asignación cuadrática, busca la minimización del manejo de material o el flujo por distancia en la distribución de planta en la que se plantea. El primer paso para formular un problema de asignación cuadrático es identificar el flujo más importante del proceso.

Para la solución del problema por medio de la metodología Q.A.P. se utiliza el apoyo del software LINGO: (LINearGeneralizeOptimizer) es una herramienta simple para formular problemas de optimización, son clasificados a menudo como lineales o no lineales, dependiendo si las relaciones en el problema son lineales con respecto a las variables. Uno de los rasgos más poderosos de LINGO es su aplicación en el lenguaje de modelo matemático.

El cual permite expresar un problema de una manera muy similar a la anotación matemática normal pudiendo también, expresar una serie entera de restricciones en una declaración compacta. Esto lleva a modelos que son mucho más fáciles de mantener. Otro aspecto es la sección de los datos, que le permite aislar los datos de la formulación del modelo. De hecho, LINGO puede leer datos incluso de una hoja de cálculo separada, base de datos, o archivo de texto. Con datos independientes del modelo, es mucho más fácil de hacer cambios, y hay menos oportunidad de error cuando se realiza el modelo.

	X_{ij}	From	To
1	X_{12}	Refrigerador	Amasadoras
2	X_{21}	Amasadoras	Refrigerador
3	X_{35}	Microondas	Báscula
4	X_{48}	Lavatrastos	Mesas de Trabajo
5	X_{53}	Báscula	Microondas
6	X_{67}	Anaquele de Materia Prima	Anaquele de Desechables
7	X_{76}	Anaquele de Desechables	Anaquele de Materia Prima
8	X_{84}	Mesas de Trabajo	Lavatrastos
9	X_{911}	Espigueros	Porta garrafón 1
10	X_{1012}	Horno de Convección	Porta garrafón 2
11	X_{119}	Porta garrafón 1	Espigueros
12	X_{1213}	Porta garrafón 2	Cocina
13	X_{1310}	Cocina	Horno de Convección

Tabla 4. From-To mediante resolución con Lingo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se muestra la distribución de planta con la metodología Q.A.P. con el apoyo del Software Lingo.

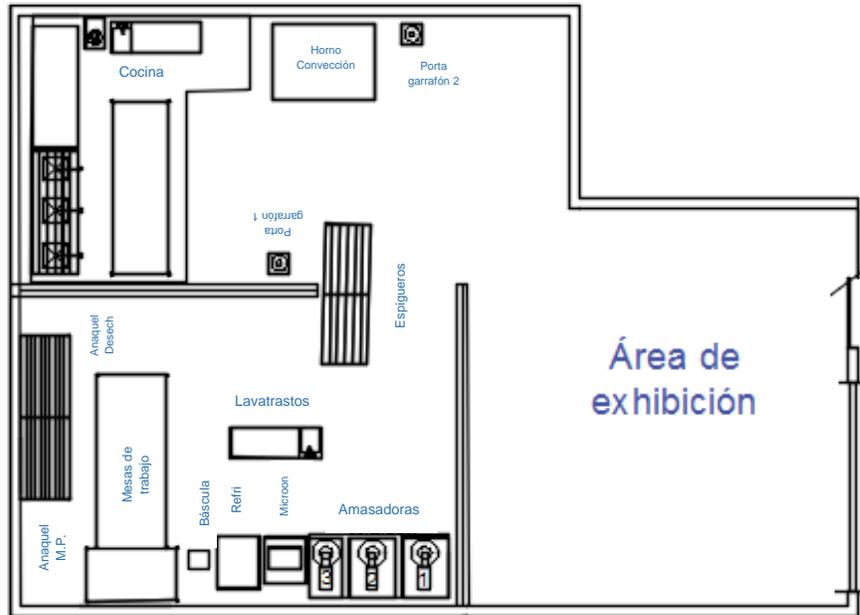


Figura. 4 Distribución de planta mediante QAP.

3.2 Análisis de la distribución de planta mediante S.L.P.

A continuación, se procederá a desarrollar la metodología SLP mediante la técnica de Muther:

El diagrama de relaciones es el primer paso. La instalación se divide en áreas de actividad convenientes (oficinas, producción, compras, ventas, mantenimientos, tornos, entre otros), y se establecen las relaciones entre las diferentes áreas y se grafican en una forma especial llamada diagrama de relaciones.

- Definición del grado de relación y las razones por la que las maquinarias y/o equipos se encuentren cerca o lejos, ver Tabla 5, y en la Tabla 6 se muestra el diagrama de relaciones.

Grado de relación			
Relación	Calificación de cercanía	Valor	Color
Absolutamente necesaria	A	4	Red
Especialmente importante	E	3	Amarillo
Importante	I	2	Verde
Ordinario	O	1	Azul
(U) No importante	U	0	Blanco
(X) No deseable	X	-1	Marrón

Razones de importancia	
Cod.	Motivo
1	Flujo de material
2	Necesidades de contacto personal
3	Uso de equipo común
4	Uso compartido de personal
5	Contacto frecuente
6	Conveniencia

Tabla 1. Grado y razones de importancia de la relación.

Diagrama de relaciones	
Distribución de panadería	
Elaborado por: GJG	
1 Refrigerador	
2 Amasadoras	E,1 U U
3 Horno de microondas	U U U A,1 A,1 U
4 Lavatrastos	X U U U I,1 U U
5 Báscula	I,1 X U U U A,2 U U
6 Anaquel de materia prima	U U X X U U U U U
7 Anaquel para desechables	U U U U X X U U I,1 U
8 Mesas de trabajo	E,1 E,1 U U U U X X U U I,4
9 Espigueros	A,1 U U U U U U X I,5 U
10 Horno de convección	A,1 U U U U U U U U
11 Porta garrafón 1	U U U U U U U U
12 Porta garrafón 2	U U U U U U U U
13 Cocina	I,1 U U U U U U U U

Tabla 2. Diagrama de relaciones entre las áreas de la panadería.

Posterior a la tabla 6, se crea la representación del espacio y se dibujan las áreas a escala en términos de su tamaño relativo, esto se presenta en Figura5 y para finalizar en la Figura6 se visualiza la distribución de la panadería obtenida mediante la metodología SLP de forma heurística.

Alternativa de acuerdo al método SLP:

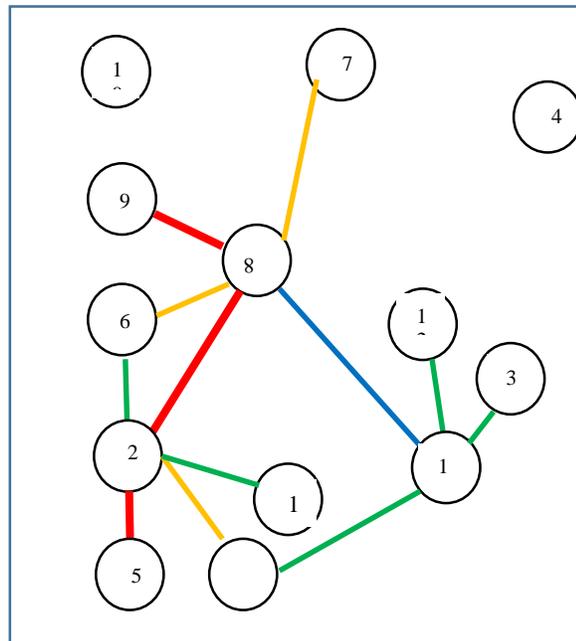


Figura 5 Distribución de planta mediante QAP.

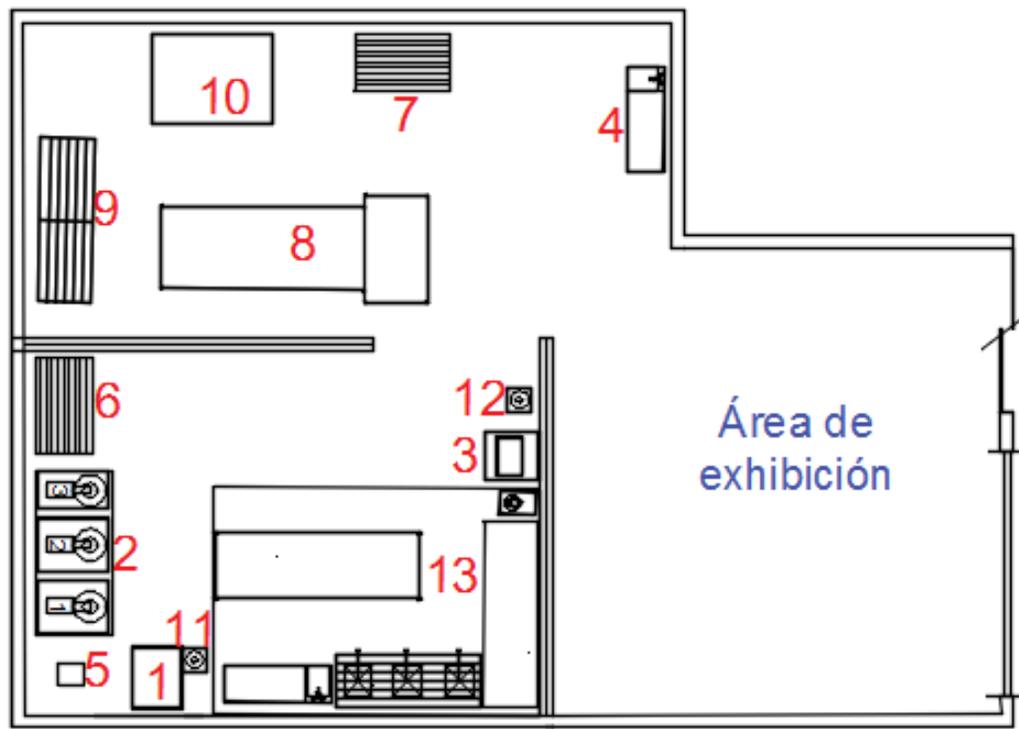


Figura 6 Distribución de la panadería de acuerdo a la metodología S.L.P. (heurístico).

4. Conclusiones

El objetivo de este artículo es presentar un diseño de una distribución física de la panadería “La Loma” mediante las herramientas QAP y SPL para aprovechar el espacio disponible y así reducir las distancias recorridas desde el manejo de materiales hasta el empaquetado. Para lograr éste objetivo se llevó a cabo la aplicación de las metodologías propuestas, y en base a cada resultado mostrado se pudieron analizar cada una de ellas y comparar los resultados, para poder saber la distancia total que se recorría de un área a otra.

Con la comparación realizada de las metodologías utilizadas se observa que la que se puede declarar que da la mejor alternativa de distribución es la metodología SLP apoyada del software Corelap, la cual da como resultado el recorrido total más corto dentro del área de producción del pan, dando una minimización de distancia del 47%.

Con esto se aprueba la hipótesis que se planteó sobre que, si una óptima distribución física en la panadería ayudará a aprovechar los espacios disponibles y a reducir las distancias recorridas desde el manejo de materiales hasta el empaquetado del producto, y como consecuencia minimizará el tiempo total de la elaboración de pan, con el resultado obtenido se aprueba la hipótesis y se concluye que con la nueva distribución de la panadería “La Loma” se logrará disminuir las distancias que se recorren al elaborar el pan, lo que trae consigo que el proceso de producción de la elaboración del pan se realice en menos tiempo.

Recomendaciones y/o trabajos futuros

El diseño de la nueva distribución de la planta de la panadería “La Loma” es muy importante verificar que las variables consideradas y los cálculos realizados tengan el efecto deseado en la realidad, para ello se recomienda llevar este sistema de producción a una simulación mediante algún software que ayude a representar el proceso con la nueva distribución y así evitar problemas futuros antes de llevarlo a la práctica.

Estudiar los tiempos en cada etapa del proceso mediante un modelo de simulación.

5. Referencias

- Aguilar, A. L. (2015). *Propuesta de redistribución de planta en producción*. Querétaro.
- Albertini, R. (2007). *La gestión de los costos en Lean Manufacturing*. España.
- Álvarez, J. A. (2009). *Rediseño de distribución de planta de las instalaciones de una empresa que comercializa equipos de bombeo para agua de procesos y residuales*. Lima.
- Anpropan. (20 de 07 de 2015). *El Financiero*. Obtenido de <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/industria-panificadora-genera-millones-de-empleos-anpropan.html>
- Arbós, L. C. (2012). *Organización de la Producción y Dirección de Operaciones*. Madrid: Díaz de Santos.
- 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.
- Bacalla, I. J. (1998). *Tipos básicos de distribución de planta*. Lima: Industrial Data.
- Bertalanffy, L. V. (s.f.). *Teoría General de los Sistemas*. México.
- Buffa. (Marzo de 1955). "Sequence analysis for functionals layouts", *The Journal of Industrial Engineering*.
- Cabanillas, M. M. (2004). *Diseño de distribución de planta de una empresa textil*. Perú.
- 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/>
- Cameron. (1952). "Travel charts", *Modern material handling magazine*.
- Cameron, D. (1952). "Travel charts", *Modern material handling magazine*.
- CANAINPA. (19 de 09 de 2009). *E Alimentación Revistas Énfasis*. Obtenido de E Alimentación Revistas Énfasis: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/14325-situacion-del-sector-panificados-mexico>
- Cárdenas, N. C. (2012). *Diseño de la distribución de la nueva planta en la empresa Maldonado García Maga*. Ecuador.
- Castañeda, L. N. (2008). *Diseño de una distribución en planta con algoritmos genéticos y búsqueda tabú*. Colombia.
- Cruz, M. C. (2001). Implantación y aplicación de una estrategia general de resolución de problemas basada en la teoría de las dimensiones del proyecto para la Elaboración de una metodología de resolución de layout. *Estructuración de las técnicas necesarias. Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Danhke, G. (1989). Investigación y comunicación. En F.-C. y. Danhke, *La comunicación humana* (págs. 385-454). México: Mc Graw-Hill.
- Delgado, J. J. (Jueves de 27/10/2016 de 2016). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4340/1/6860.pdf>. Obtenido de <https://www.google.com.mx>: <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Delgado, J. M. (2011). *Logística y Cadena de Suministro*. OpusNova.
- Díaz, A. H. (2006). *Algoritmo Tabú para un problema de distribución de espacios*. España.
- Diego Mas, J. (2006). Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. *Aportación al control de la geometría de las actividades. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Douglas, A. S. (21 de Mayo de 2012). *Administración de empresas*. Obtenido de <https://administrativefield.wordpress.com/2012/05/21/la-division-del-trabajo-adam-smith/>
- Esteban, F. D. (2005). *Algoritmo heurístico para la formación y distribución en planta de células de trabajo*. España.
- Flores, G. N. (2013). *La aplicación de las técnicas systematic layout planning y systematic handling analisis para mejorar el movimiento de los materiales en una empresa textil*. México.
- Fucci, I. T. (1999). *Enfoque actual de las tecnicas y sistemas de producción*.
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- García, J. L. (2005). Aportación a la optimización multiobjetivo de la distribución en planta. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Gonzales, H. M. (s.f.). *Proteccion reles*.

-
- González, C. M. (2002). Diseño y simulación de una red neuronal aplicada al problema de distribución óptima de planta. *Tesis Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas*. Instituto Politécnico Nacional.
- Heregu, S. (2006). Este modelo puede ser usado en el diseño de la distribución física de fábricas con. University of Louisville.
- Industrial, T. A. (2004). INEN 416 Facility Location, Layout, and Material Handling.
- INEGI. (2013). Sistemas Nacionales de Cuentas en México, Cuentas de Bienes y Servicios.
- Ingeniería de sistemas y automática. (s.f.). *Sistemas de fabricación flexible*.
- Konz, S. (1991). Diseño de Instalaciones industriales. México, D.F.: Limusa S.A.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Principios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- López, C. J. (1994). *Validación de modelos de diseño de distribución en planta asistidos por ordenador aplicados a alojamientos de vacuno lechero en Galicia*. Galicia.
- Lovelle. (2001). *Use Value Stream Mapping to reveal the benefit of lean manufacturing*. Solutions, 27-33.
- Mantilla, C. A. (2011). *Distribución de planta en la Empresa INCALSID para la optimización de la producción de calzado*.
- Martínez, Y. J. (2006). *Análisis de la distribución de las plantas de una empresa dedicada a la elaboración de chocolates y galletas*. Ecuador.
- Mas, J. D. (2006). Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. *Aportación al control de la geometría de las actividades. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Mastretta, G. V. (2008). *Administración de los sistemas de producción*. Mexico: Limusa.
- Meller R. y Gau K. (1996). The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives, en *Journal of Manufacturing Systems*.
- Moreno, A. D. (2014). *Optimización multiobjetivo del problema de distribución de planta: Un nuevo modelo matemático*. Colombia.
- Muñoz, D. A. (2012). *Propuesta de redistribución de planta en una empresa de sector textil*. Santiago de Cali.
- Muñoz, M. M. (2006). *Propuesta de distribución de planta para una organización dedicada a la fabricación de llanta tipo diagonal*. México.
- Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial (Método SLP)*. Barcelona, España: Técnicos Asociados S.A.
- Muther, R. (1981). *Distribución en planta*. Barcelona, España: Segunda Edición. Editorial Hispano-Europea.
- Oliveira, K. D. (2013). *Algoritmo computarizado para determinar localización de instalaciones mediante un modelo*. Venezuela.
- Ortíz, J. L. (2010). *REDISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BORNES DE RISARALDA*. Pereira.
- Ouchi, W. (1981). *Theory Z: How American Bussines Can Meet the Japonese Challenge*. Colombia.
- Plant Layout Quadratic Assignment Problem*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cen.uiuc.edu/courses/ie261/notes/layout/layout-Quadrtati.html>
- Plant Layout Quadratic Assignment Problem*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cen.uiuc.edu/courses/ie261/notes/layout/layout-Quadrtati.html>
- Rivera, L. (2012). *Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones*. Colombia.
- Sampieri, R. H. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Santamarina, M. C. (1995). Métodos de optimización en la generación de distribuciones de plantas industriales mediante la aplicación de algoritmos genéticos y técnicas basadas en árboles de corte. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Sibirats, J. M. (2011). *Optimización multiobjetivo de la distribución en planta*. Valencia.
- Taylor, F. W. (1961). *Principios de la administración científica*. México.
- Tech, U. d. (s.f.).
- Tompkins, J. y. (1984). *Facilities planning*. Nueva York (E.U.A): John Wiley & Sons.
- Trueba Jainaga, J. (2009). *Principios básicos de la distribución en planta*. España.
-

-
- Universidad del paraíso Vasco. (s.f.). *Fabricación asistida por ordenador*. Bilbao.
- Vallejos, C. R. (2012). *Mejoramiento de productividad mediante distribución de instalaciones y reasignación de personal en un área de la planta en empresa textil*. Chile.
- Vendan. (2010). *Reduction of Wastages in Mtor Manufacturing Industry*. JJMIE, 579-590.
- Yin, R. (2003). Los casos de estudio. USA.
- Aguilar, A. L. (2015). *Propuesta de redistribución de planta en producción*. Querétaro.
- Albertini, R. (2007). *La gestión de los costos en Lean Manufacturing*. España.
- Álvarez, J. A. (2009). *Rediseño de distribución de planta de las instalaciones de una empresa que comercializa equipos de bombeo para agua de procesos y residuales*. Lima.
- Anpropan. (20 de 07 de 2015). *El Financiero*. Obtenido de <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/industria-panificadora-genera-millones-de-empleos-anpropan.html>
- Arbós, L. C. (2012). *Organización de la Producción y Dirección de Operaciones*. Madrid: Díaz de Santos.
- 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.
- Bacalla, I. J. (1998). *Tipos básicos de distribución de planta*. Lima: Industrial Data.
- Bertalanffy, L. V. (s.f.). *Teoría General de los Sistemas*. México.
- Buffa. (Marzo de 1955). "Sequence analysis for functionals layouts", *The Journal of Industrial Engineering*.
- Cabanillas, M. M. (2004). *Diseño de distribución de planta de una empresa textil*. Perú.
- 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/>
- Cameron. (1952). "Travel charts", *Modern material handling magazine*.
- Cameron, D. (1952). "Travel charts", *Modern material handling magazine*.
- CANAINPA. (19 de 09 de 2009). *E Alimentación Revistas Énfasis*. Obtenido de E Alimentación Revistas Énfasis: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/14325-situacion-del-sector-panificados-mexico>
- Cárdenas, N. C. (2012). *Diseño de la distribución de la nueva planta en la empresa Maldonado García Maga*. Ecuador.
- Castañeda, L. N. (2008). *Diseño de una distribución en planta con algoritmos genéticos y búsqueda tabú*. Colombia.
- Cruz, M. C. (2001). Implantación y aplicación de una estrategia general de resolución de problemas basada en la teoría de las dimensiones del proyecto para la Elaboración de una metodología de resolución de layout. *Estructuración de las técnicas necesarias. Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Danhke, G. (1989). Investigación y comunicación. En F.-C. y. Danhke, *La comunicación humana* (págs. 385-454). México: Mc Graw-Hill.
- Delgado, J. J. (Jueves de Octubre de 2006). <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4340/1/6860.pdf>. Obtenido de <https://www.google.com.mx>: <https://www.dspace.espol.edu.ec>
- Delgado, J. M. (2011). *Logística y Cadena de Suministro*. OpusNova.
- Díaz, A. H. (2006). *Algoritmo Tabú para un problema de distribución de espacios*. España.
- Diego Mas, J. (2006). Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. *Aportación al control de la geometría de las actividades. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Douglas, A. S. (21 de Mayo de 2012). *Administración de empresas*. Obtenido de <https://administrativefield.wordpress.com/2012/05/21/la-division-del-trabajo-adam-smith/>
- Esteban, F. D. (2005). *Algoritmo heurístico para la formación y distribución en planta de células de trabajo*. España.
- Flores, G. N. (2013). *La aplicación de las técnicas systematic layout planning y systematic handling analisis para mejorar el movimiento de los materiales en una empresa textil*. México.
- Fucci, I. T. (1999). *Enfoque actual de las tecnicas y sistemas de producción*.
-

-
- García Echevarría, S. (1994). *Teoría económica de la empresa*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- García, J. L. (2005). Aportación a la optimización multiobjetivo de la distribución en planta. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Gonzales, H. M. (s.f.). *Proteccion reles*.
- González, C. M. (2002). Diseño y simulación de una red neuronal aplicada al problema de distribución optima de planta. *Tesis Maestria en Ciencias en Ingeniería de Sistemas*. Instituto Politécnico Nacional.
- Heregu, S. (2006). Este modelo puede ser usado en el diseño de la distribución física de fábricas con. University of Louisville.
- Industrial, T. A. (2004). INEN 416 Facility Location, Layout, and Material Handling.
- INEGI. (2013). Sistemas Nacionales de Cuentas en México, Cuentas de Bienes y Servicios.
- Ingeniería de sistemas y automática. (s.f.). *Sistemas de fabricación flexible*.
- Konz, S. (1991). Diseño de Instalaciones industriales. México, D.F.: Limusa S.A.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2008). *Pricipios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- López, C. J. (1994). *Validación de modelos de diseño de distribución en planta asistidos por ordenador aplicados a alojamientos de vacuno lechero en Galicia*. Galicia.
- Lovelle. (2001). *Use Value Stream Mapping to reveal the benefist of lean manufacturing*. Solutions, 27-33.
- Mantilla, C. A. (2011). *Distribución de planta en la Empresa INCALSID para la optimización de la producción de calzado*.
- Martínez, Y. J. (2006). *Análisis de la distribución de las plantas de una empresa dedicada a la elaboración de chocolates y galletas*. Ecuador.
- Mas, J. D. (2006). ptimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. *Aportación al control de la geometría de las actividades. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Mastretta, G. V. (2008). *Administración de los sistemas de producción*. Mexico: Limusa.
- Meller R. y Gau K. (1996). The Facility Layout Problem: Recent and Emerging Trends and Perspectives, en *Journal of Manufacturing Systems*.
- Moreno, A. D. (2014). *Optimización multiobjetivo del problema de distribución de planta: Un nuevo modelo matemático*. Colombia.
- Muñoz, D. A. (2012). *Propuesta de redistribución de planta en una empresa de sector textil*. Santiago de Cali.
- Muñoz, M. M. (2006). *Propuesta de distribución de planta para una organización dedicada a la fabricación de llanta tipo diagonal*. México.
- Muther, R. (1968). *Planificación y proyección de la empresa industrial (Método SLP)*. Barcelona, España: Técnicos Asociados S.A.
- Muther, R. (1981). *Distribución en planta*. Barcelona, España: Segunda Edición. Editorial Hispano-Europea.
- Oliveira, K. D. (2013). *Algoritmo computarizado para determinar localización de instalaciones mediante un modelo*. Venezuela.
- Ortíz, J. L. (2010). *REDISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BORNES DE RISARALDA*. Pereira.
- Ouchi, W. (1981). *Theory Z: How American Bussines Can Meet the Japonese Challenge*. Colombia.
- Plant Layout Quadratic Assignment Problem*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cen.uiuc.edu/courses/ie261/notes/layout/layout-Quadrtati.html>
- Plant Layout Quadratic Assignment Problem*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cen.uiuc.edu/courses/ie261/notes/layout/layout-Quadrtati.html>
- Rivera, L. (2012). *Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones*. Colombia.
- Sampieri, R. H. (2006). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Santamarina, M. C. (1995). Métodos de optimización en la generación de distribuciones de plantas industriales mediante la aplicación de algoritmos genéticos y técnicas basadas en árboles de corte. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Sibirats, J. M. (2011). *Optimización multiobjetivo de la distribución en planta*. Valencia.
-

-
- Taylor, F. W. (1961). *Principios de la administración científica*. México. Tech, U. d. (s.f.).
- Tompkins, J. y. (1984). *Facilities planning*. Nueva York (E.U.A): John Wiley & Sons.
- Trueba Jainaga, J. (2009). Principios básicos de la distribución en planta. España. Universidad del paraíso Vasco. (s.f.). *Fabricación asistida por ordenador*. Bilbao.
- Vallejos, C. R. (2012). *Mejoramiento de productividad mediante distribución de instalaciones y reasignación de personal en un área de la planta en empresa textil*. Chile.
- Vendan. (2010). *Reduction of Wastages in Mtor Manufacturing Industry*. JJMIE, 579-590.
- Yin, R. (2003). Los casos de estudio. USA.

6. Notas biográficas

La **Ing. Gema del C. Jiménez Gómez**, es estudiante de la maestría en Ingeniería Industrial, es profesora de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Alvarado, Veracruz. gemajimgo@gmail.com.

El **Dr. Isidro Rodríguez Montoro**, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. irodriguez@itsm.edu.mx.

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert**, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx.

El **MI. Margarito Landa Zarate** es maestro en Ingeniería Industrial, coordinador de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. mlandaz@itsm.edu.mx.

El **Dr. Juan Manuel Carrión Delgado**, es profesor de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Xalapa, Veracruz. carriodel@hotmail.com.

Producción de tacos en la región de Misantla Apoyada en la Programación Lineal.

*Flor Idalia Tirado Aguilar, Ing.¹, Ing. Israel Zarate Hernández², Ing. Pablo Colorado Posadas³,
Dr. Gregorio Fernández Lambert⁴, MII. Gabriel Grosskelwing Núñez⁵.*

¹ La Ing. Flor Idalia Tirado Aguilar es alumna del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. floridaliatirado@hotmail.com

² El Ing. Israel Zarate Hernández es alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. israel_yhernandez@hotmail.com

³ El Ing. Pablo Colorado Posadas es alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. pcoloradop@itsm.edu.mx

⁴ El Dr. Gregorio Fernández Lambert es profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. gfernandezl@itsm.edu.mx

⁵ El Maestro. Gabriel Grosskelwing Núñez, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

Resumen - En este trabajo se utiliza la Programación Lineal para maximizar la ganancia bruta de las taquerías de la región de Misantla, Veracruz. Las empresas que se dedican a brindar un servicio de comida trabajan de manera artesanal y empírica, por lo cual se propone con este procedimiento resolver el problema de la planeación de la producción en este tipo de negocios. El análisis se centra en cinco tipos de productos, que según recomendación de un experto [Israel Jiménez, 2016] en este tema son: tacos de bistec, cabeza, maciza, longaniza y pollo. Como resultado se obtuvo que la Programación Lineal ayudó a modelar diversos escenarios a los que pueden enfrentarse los empresarios de esta industria y con ello mejorar sus decisiones ante posibles cambios de la demanda.

Palabras clave: Producción de tacos, Programación Lineal, Planeación de la Producción tiempos, Toma de Decisiones.

Abstract: In this paper linear programming is used to maximize the gross profit of the region taquerías Misantla, Veracruz. The companies that are dedicated to providing food service and craft work empirically, so this procedure is proposed to solve the problem of production planning in this type of business. The analysis focuses on five types of products, as recommended by an expert [Israel Jiménez, 2016] on this issue are: steak tacos, head, solid, sausage and chicken. As a result it was found that the linear programming model various scenarios helped that employers may face in this industry and thereby improve their decisions by possible changes in demand.

Key words: Production tacos, Linear Programming, Production Planning times, Decision Making.

1. Introducción

Este documento se realizó con el objetivo de maximizar las ganancias de las empresas dedicadas a la venta de tacos, que trabajan de manera artesanal y empírica del Municipio de Misantla, Veracruz, utilizando para lograr este fin la Programación Lineal. La programación Lineal es una técnica de investigación Operativa que ayuda a establecer modelos con base en las restricciones propias del sistema analizado permitiendo modelar múltiples escenarios. En un lenguaje matemático el cual los distintos objetivos y hechos económicos del área bajo estudio en otros tantos conceptos y relaciones matemáticas [Castañeda, 2014]. Existen varios tipos de métodos de solución, dado en función de las restricciones del sistema, en general son: Método Grafico, Método Simplex, Método de Doble Fase, Método de las M's (Taha, 2003).

En este trabajo se presenta una propuesta de solución al problema de cuanto producir para obtener ganancias máximas en la producción de tacos, considerando los insumos requeridos y la demanda de los mismos [Gómez Herrera, Figueroa Cabrera, & Escobar John, 2013] de tacos del municipio de Misantla, para cinco tipos de tacos, como lo son: tacos de bistec, cabeza, maciza, longaniza y pollo.

Los tacos son productos de consumo cotidiano en la región de Misantla, Ver. Los cuales llevan un proceso de elaboración que comprende dos tamaños de tortilla (grande y chica), cinco diferentes tipos de carne (bistec, cabeza, maciza, longaniza y pollo), el procedimiento de la tortilla para los tacos de: bistec y longaniza

llevan un proceso de fritura, los tacos de cabeza, maciza y pollo tiene un proceso de vapor, posteriormente se agregan los ingredientes cebolla y el cilantro.

2. Desarrollo

La producción de tacos en el municipio de Misantla, Veracruz ha presentado siempre una alternativa factible para las familias que se sustenta de este mercado. La elaboración de estos tipos de productos es relevante a unidades económicas y empleos generados.

Para la elaboración de un taco se requieren los siguientes insumos según el tipo de taco. Tabla 1.

Insumo	Bistec		Cabeza		Maciza		Pollo		Longaniza	
	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C
Tortilla	21.7	12.2	21.7	12.2	21.7	12.2	21.7	12.2	21.7	12.2
Carne	21	11.1	36	24.9	22.2	18.3	17.8	16.4	13.9	10.6
Cebolla	3.5	2.2	1.2	2.9	3.2	2.4	4.2	1.4	3.7	2.4
Cilantro	4.3	2.5	1.5	1.7	2	2.1	1.2	2.1	2.5	2.5

Tabla 1.- Insumos en gramos para elaboración de tacos (G: tortilla grande, C: tortilla chica)

Con base en el estudio realizado durante un periodo de tiempo de 10 días, en horarios de 9 am a 11.30 pm se obtiene la demanda de cada tipo de taco, tabla 2.

Insumo	Bistec		Cabeza		Maciza		Pollo		Longaniza	
	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C
Tacos	817	1412	630	837	361	609	401	565	538	648

Tabla 2.- Demanda de tacos por unidad

Mediante un proceso de medición con equipo especializado (Velab VE-5000), se obtuvo la porción de carne para cada tipo de taco y tamaño de tortilla, como se muestra a continuación: *tortilla chica (11.1 gr de bistec, 24.9 gr de cabeza, 18.3 gr maciza, 16.4 gr de pollo, 10.6 gr de longaniza), tortilla grande (20.6 gr de bistec, 36 gr de cabeza, 22.2 gr maciza, 17.8 gr de pollo, 13.9 gr de longaniza)*. De los insumos parciales se obtiene el insumo total de carne para los diez días de estudio de esta investigación, para cada tipo de taco y en los dos tamaños de tortilla, como se muestra en las tablas 3 y 4.

Bistec	Cabeza	Maciza	Pollo	Longaniza
15.67	20.84	11.14	9.26	10.6

Tabla 3.- Insumos de carne (Kg) para tacos de tortilla chica

Bistec	Cabeza	Maciza	Pollo	Longaniza
16.83	22.68	8.01	7.13	7.48

Tabla 4.- Insumos de carne (Kg) para tacos de tortilla chica

Por datos del experto se sabe que los precios de los insumos por kilogramo son los siguientes, Tabla 5.

Tortilla		Bistec	Cabeza	Maciza	Longaniza	Pollo	Cebolla	Cilantro
G	C							
\$10	\$12	\$60	\$25	\$60	\$90	\$48	\$10.5	\$29

Tabla 5.- Precios de insumos en el mercado

La utilidad por cada tipo de taco, considerando el costo de insumo por unidad de producto es la siguiente, Tabla 6.

Insumo	Bistec		Cabeza		Maciza		Pollo		Longaniza	
	G	C	G	C	G	C	G	C	G	C
(\$)	4.23	3.95	4.57	4.00	4.13	3.52	4.61	3.83	4.21	3.67

Tabla 6.- Ganancia bruta por cada tipo de taco y por tamaño de tortilla

De acuerdo a los datos obtenidos se realizó un análisis de confiabilidad para los cinco tipos de tacos mediante intervalos de confianza para la distribución muestral de la media con varianza poblacional conocida. El análisis de intervalo de confianza se calculó utilizando la herramienta estadística Minitab 17.

Cálculo de Intervalos de Confianza de tacos (tortilla chica) Z de una muestra

1.- [Bistec]

La desviación estándar supuesta = 38.8

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

1412 141.00 1.03 (138.98, 143.02)

2.- [Cabeza]

La desviación estándar supuesta = 18.37

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

837 84.000 0.635 (82.756, 85.244)

3.- [Maciza]

La desviación estándar supuesta = 29.03

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

609 61.00 1.18 (58.69, 63.31)

4.- [Pollo]

La desviación estándar supuesta = 23.88

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

565 57.00 1.00 (55.03, 58.97)

5.- [Longaniza]

La desviación estándar supuesta = 28.24

Error

estándar

de la

N Media media IC de 95%

648 65.00 1.11 (62.83, 67.17)

Cálculo de Intervalos de Confianza de tacos (tortilla grande). Z de una muestra.

1.- [Bistec]

La desviación estándar supuesta = 38.88

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

817 82.00 1.36 (79.33, 84.67)

2.- [Cabeza]

La desviación estándar supuesta = 22.98

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

630 63.000 0.916 (61.206, 64.794)

3.- [Maciza]

La desviación estándar supuesta = 18.32

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

361 36.000 0.964 (34.110, 37.890)

4.- [Pollo]

La desviación estándar supuesta = 26.16

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

401 40.00 1.31 (37.44, 42.56)

5.- [Longaniza]

La desviación estándar supuesta = 24.58

Error

Estándar

de la

N Media media IC de 95%

538 54.00 1.06 (51.92, 56.08)

Planteamiento del Problema

El objetivo de cualquier negocio es generar utilidades para los inversionistas; y dado que las empresas de este tipo, artesanales, los propietarios no tienen control estadístico y ni metodología para determinar la producción más benéfica para satisfacer la demanda. En sus actividades de producción, el artesano produce conforme a su conocimiento empírico, por consiguiente adquiere sus insumos de manera diaria.

La presente investigación realizó un estudio estadístico para obtener información detallada de la cantidad de porción de los insumos que lleva cada tipo de taco (tortilla chica/grande) para su elaboración, se obtuvieron los costos de cada insumo, con estos datos se determinó la utilidad por cada tipo de taco la cual se muestra en la tabla 6. Con esta información se realizó un análisis de confiabilidad para los tacos mediante intervalos de confianza para la distribución muestral de la media con varianza poblacional conocida, los resultados obtenidos muestran la variación de venta o consumo por día de cada tipo de taco (tortilla chica/grande), y esto permite conocer el total de los insumos que se necesitan para satisfacer en promedio la demanda, diaria, semanal, quincenal o mensual. Para maximizar la utilidad se plantea un Modelo de Programación Lineal que permita conocer la cantidad de producción y tipo de tacos que harán cumplir con el objetivo establecido, sin violar las restricciones propias del negocio.

Metodología

Se obtuvo información con el experto [Israel Jiménez, 2016] de los costos de insumos para la elaboración de los cinco productos estudiados, mediante una diferencia aritmética se determinó la ganancia bruta.

$$\text{Ganancia Bruta} = \text{Precio al Público} - \text{Costo de Insumos}$$

La función objetivo de este planteamiento es maximizar la utilidad de los cinco tipos de tacos (tortilla chica/grande). La función objetivo queda definida de la siguiente manera:

$$[\text{Taco chico}] \text{ Max } z = 3.95x_1 + 4.0x_2 + 3.52x_3 + 3.83x_4 + 3.67x_5 \quad (1)$$

$$[\text{Taco grande}] \text{ Max } z = 4.23x_1 + 4.57x_2 + 4.13x_3 + 4.61x_4 + 4.21x_5 \quad (2)$$

Donde x_i : tipo de taco (1: bistec, 2: cabeza, 3: maciza, 4: pollo y 5: longaniza), que se producen en la taquería.

La función objetivo está sujeta a las restricciones del tamaño de tortilla y cantidad de insumos.

La capacidad de producción depende de la cantidad disponible de tortilla chica en promedio 10kg y grande 9.1 kg.

[Tortilla chica] $3.4x_1 + 2.05x_2 + 1.49x_3 + 1.39x_4 + 1.56x_5 \geq 10$; (3)

[Tortilla grande] $3.56x_1 + 2.7x_2 + .78x_3 + .087x_4 + 1.17x_5 \geq 9.1$; (4)

La capacidad de insumos de verduras para cubrir la demanda promedio de taco chico es de: 9.2kg de cebolla, 9kg de cilantro. Para taco grande es de: 8.5kg de cebolla y 7kg de cilantro.

[Cebolla, Taco chico]. $0.022x_1 + .0029x_2 + .0024x_3 + .0014x_4 + .0024 = .92$; (5)

[Cilantro, Taco chico]. $0.025x_1 + .0017x_2 + .0021x_3 + .0021x_4 + .0025x_5 = 9$; (6)

[Cebolla, Taco grande]. $0.0035x_1 + .0012x_2 + .0032x_3 + .0042x_4 + .0037x_5 = .87$; (7)

[Cilantro, Taco grande]. $0.0043x_1 + .0015x_2 + .0020x_3 + .0012x_4 + .0025x_5 = .63$; (8)

Los insumos de carne que se utilizan para la elaboración de tacos/chica (en promedio) son 1.57kg de bistec, 2.09kg de cabeza, 1.12kg de maciza, .93kg pollo, .69kg de longaniza y de tacos/grande (en promedio) son .29kg de bistec, .076kg de cabeza, .12kg de maciza, .17kg pollo, .20kg de longaniza; quedando las restricciones:

[Restricción de carnes/taco chico] $1.57x_1 + 2.09x_2 + 1.12x_3 + .93x_4 + .69x_5 \geq 6.6$; (9)

Restricción de carnes/taco grande] $.29x_1 + .76x_2 + .12x_3 + .17x_4 + .20x_5 \geq 6.08$; (10)

3. Resultados

Aplicando las restricciones de proveeduría y utilizando el software LINGO 16, se obtuvieron los siguientes resultados:

[*Modelación tortilla chica*]

Global optimal solution found.

Objective value: 1776.660

Objective bound: 1776.660

Infeasibilities: 0.000000

Extended solver steps: 294

Total solver iterations: 319

Elapsed runtime seconds: 0.25

Model Class: MILP

Total variables: 5

Nonlinear variables: 0

Integer variables: 4

Total constraints: 16

Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 40

Nonlinear nonzeros: 0

Variable Value Reduced Cost

X1 7.000000 -0.5858333

X2 180.0000 0.4345833

X3 2.000000 0.1500000

X4 263.0000 -1.689167

X5 4.000000 0.000000

Row Slack or Surplus Dual Price

1 1776.660 1.000000

2 3.600000 0.000000

3 177.9500 0.000000

4 0.5100000 0.000000

5 261.6100 0.000000

```

6 2.440000 0.000000
TORTILLA 446.0000 0.000000
CEBOLLA 0.000000 1529.167
CILANTRO 0.000000 0.000000
BISTEC 5.430000 0.000000
CABEZA 177.9100 0.000000
MACIZA 0.8800000 0.000000
POLLO 262.0700 0.000000
LONGANIZA 3.310000 0.000000
CARNES 449.4000 0.000000
16 49.00000 0.000000

```

[Modelación tortilla grande]

Global optimal solution found.

Objective value: 1894.280

Objective bound: 1894.280

Infeasibilities: 0.000000

Extended solver steps: 13773

Total solver iterations: 11350

Elapsed runtime seconds: 2.59

Model Class: MILP

Total variables: 5

Nonlinear variables: 0

Integer variables: 4

Total constraints: 16

Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 40

Nonlinear nonzeros: 0

```

Variable Value Reduced Cost
X1 6.000000 -0.2475676
X2 286.0000 -3.204595
X3 7.000000 -0.4889189
X4 101.0000 0.1689189
X5 16.00000 0.000000
Row Slack or Surplus Dual Price
1 1894.280 1.000000
2 2.440000 0.000000
3 283.3000 0.000000
4 6.220000 0.000000
5 100.1300 0.000000
6 14.83000 0.000000
TORTILLA 406.9000 0.000000
CEBOLLA 0.000000 1137.838
CILANTRO 0.000000 0.000000
BISTEC 4.310000 0.000000
CABEZA 283.7300 0.000000
MACIZA 6.200000 0.000000
POLLO 100.2900 0.000000
LONGANIZA 15.25000 0.000000
CARNES 409.9200 0.000000
16 141.0000 0.000000

```

4. Conclusiones

La Programación Lineal aplicada en la planeación de la producción de tacos en PYMES del municipio de Misantla, Veracruz, ayuda a tener bajo control la cantidad de insumos requeridos para satisfacer la demanda de consumo de tacos en sus diferentes tipos, conociendo la utilidad que le deja cada tipo de taco, lo cual permitirá al propietario decidir cuales tacos elaborar según los resultados obtenidos en esta modelación. Cabe mencionar que los resultados están sujetos a costos de insumo para obtener una máxima utilidad, finalmente quien decidirá cuales tipos de tacos elaborar será el propietario según sus demandas de cada consumidor.

5. Referencias

Grosskelwing Núñez G. (2014). *Producción de Lácteos en la Industria Artesanal de Misantla Apoyada en la Programación Lineal*. Artículo de Maestría en Ing. Industrial. Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver.

Fernández Lambert G. (2015). *Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa en Veracruz, México*. Artículo de Investigación de la Revista Conciencia Tecnológica ISSN: 1405-5597, Instituto Tecnológico de Aguascalientes México.

Entrevista al Sr. Israel Jiménez, 2016

7. Notas bibliográficas

La **Ing. Flor Idalia Tirado Aguilar** es Ingeniera en Ingeniería Industrial egresada del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver., alumna del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de la misma institución. floridaliatirado@hotmail.com

El **Ing. Israel Zarate Hernández** es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver., alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial de esta misma institución. israel_yhernandez@hotmail.com

El **Ing. Pablo Colorado Posadas** es Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de Veracruz, ver., alumno del primer semestre de la Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. pcoloradop@itsm.edu.mx

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert** es profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. gfernandezl@itsm.edu.mx

El **MII Gabriel Grosskelwing Núñez** es profesor investigador del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Ver. ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

Propuesta metodológica para aplicar Kaizen en una línea manufacturera del sector automotriz

Ing. Israel Zárate Hernández ¹, MAI. Saúl Santiago Cruz ², MII Margarito Landa Zárate ³.

-
1. El **Ing. Israel Zárate Hernández**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial que imparte el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Israel_yhernandez@hotmail.com
 2. El **Dr. Saúl Santiago Cruz** es maestro en Administración Industrial y profesor investigador por la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, doctorante en Medio Ambiente por la Universidad del Noreste, Tampico Tamaulipas. ssantiagoc@itsm.edu.mx
 3. El **MI. Margarito Landa Zárate** obtuvo su título de Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico de Puebla de la ciudad de Puebla, Puebla.
-

Resumen - Con la presente investigación se pretende optimizar el Plan Maestro de la Producción de la empresa TAPES MEXICANA S.A. de C.V. mediante un Modelo Metodológico para aplicar Kaizen, como una herramienta de mejora continua para líneas de producción y tipos de modelo de fabricación. Con el uso de Kaizen se adapta la línea de producción y este permite reducir la cantidad de SCRAP y tiempos muertos que se generan en el proceso. Se utiliza análisis de logística en la línea para conocer los involucrados mediante grafos. Los resultados demuestran que una metodología Kaizen permite analizar el proceso de producción. En este base los resultados obtenidos la propuesta Kaizen nos permiten concluir que disminuyen los tiempos de recorrido en la línea de producción de ALFHA KEEN, tomando en cuenta diversos aspectos que influyen en el proceso como lo son el SCRAP que se genera un 12.5 % en el proceso, los tiempos muertos que se generan un 33% a través de cambios de modelo, falta de materia prima o por averías en las maquinas. Lo que nos permite reducir la cantidad de pérdidas de materia prima, los tiempos que se generan en el proceso y aumentar la producción de bolsas de aire para cubrir la demanda y obtener mayor utilidad para la empresa.

Palabra(s) clave: Industria manufacturera, Kaizen, tiempos muertos, SCRAP, ciclo PDCA.

Abstract- With this research is to optimize the Master Plan of Production Company S.A. TAPES MEXICANA de C.V. using a methodological model for applying Kaizen, as a tool for continuous improvement to production lines and manufacturing model types. Kaizen using the production line and this allows adapting reduce the amount of downtime SCRAP and generated in the process. Logistic analysis is used in line to meet those involved by graphs. The results demonstrate that a Kaizen methodology to analyze the production process. On this basis the results of the Kaizen proposal allow us to conclude that reduce travel times on the production line Alpha KEEN, taking into account various aspects that influence the process as are the SCRAP generated 12.5% in the process downtime generated 33% through model changes, lack of raw materials or damage to the machines. Allowing us to reduce the amount of raw material losses, the times are generated in the process and increase the production of air bags to meet demand and to raise the profitability for the company.

KeyWord(s): Manufacturing, Kaizen, timeouts, SCRAP, PDCA cycle.

1. Introducción.

En la presente investigación se propone usar un modelo metodológico Kaizen que ayude a encontrar operaciones o actividades que no agregan valor al producto, con objeto de mejorar el sistema de producción de la línea de ALFHA KEEN en la empresa Tapes Mexicana S.A. de C.V.

Kaizen es el mejoramiento continuo y esta filosofía se compone de varios pasos que nos permiten analizar variables críticas del proceso de producción y buscar su mejora en forma diaria con la ayuda de equipos multidisciplinarios.

Kaizen tiene un enfoque humanista que espera que todos participen en él; elimina toda aquella actividad que no agrega valor al producto. La aplicación de esta se ve en cualquier empresa que desee mejorar y sus beneficios son optimizar el ambiente de trabajo y obtener mejores resultados que beneficie a la empresa.

En este artículo se presenta un diseño metodológico para aplicar kaizen en las industrias manufactureras teniendo como objetivo reducir los tiempos muertos y el SCRAP que es generado a través de problemas en las máquinas de trabajo u operadores.

2. Desarrollo.

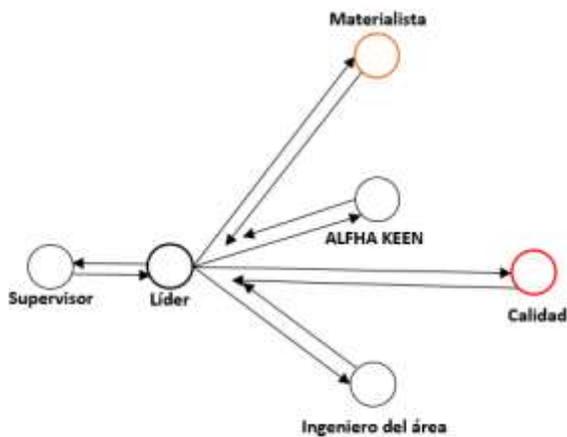
En este trabajo se realizó la aplicación de un modelo kaizen para la industria manufacturera del sector automotriz. Dicho modelo utiliza el análisis de logística para conocer como está distribuida la línea de producción, y se hace un esquema mediante el software Visio. La metodología de investigación que fue utilizada es la del ciclo PDCA (Bernal, 2013).

Las etapas de esta metodología establecen claramente cuatro fases que son: a) Planificar (plantear el problema, plantear objetivos, conocer la logística de la línea y suministros), b) hacer (evaluar capacidad de producción, tiempos de operación, tiempos muertos, cantidad de SCRAP e identificar todo el proceso de la línea), c) controlar (realizar Diagrama Ishikawa, Pareto), y d) actuar. Esta última etapa a un no está iniciada.

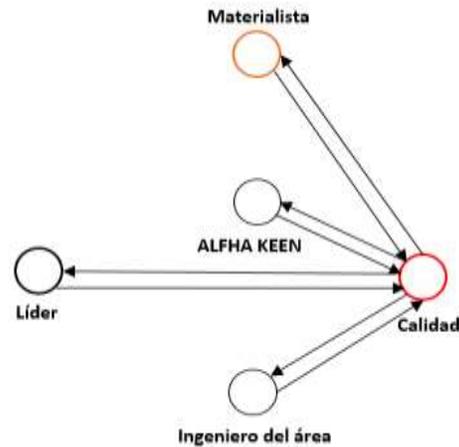
Para el desarrollo metodológico se analiza los que interactúan en el proceso el líder, materialista, ingeniero de calidad, ingeniero de diseño y un supervisor.

Caso de estudio

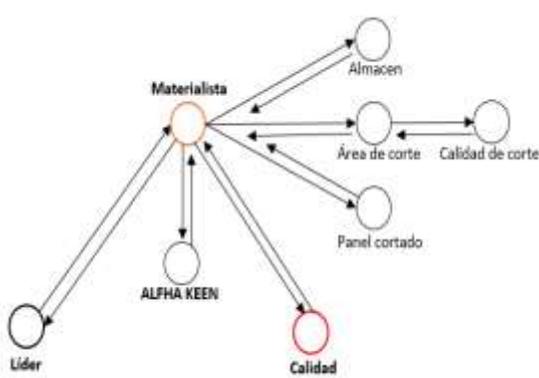
Para el desarrollo de este estudio se considera una línea de producción del sector automotriz de la ciudad de Matamoros Tamaulipas, en esta industria se encuentra varias líneas de producción diseñadas a fabricar bolsas de aire para autos en diferentes modelos, en especial para el caso de estudio se tomó la línea de bolsas de aire de rodilla para pasajeros PKAB y conductor DKAB, para diseñar una propuesta metodológica de la línea ALFHA KEEN, misma que consta de 16 operaciones para sacar el producto terminado y de 5 elementos importantes que se involucran en el proceso como son: líder, materialista, ingeniero de calidad, ingeniero de diseño y un supervisor. Véase el análisis la logística de cómo se relaciona la comunicación dentro del sector automotriz.



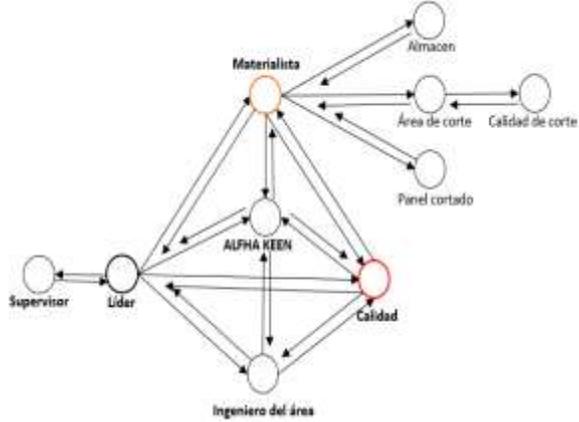
Grafo 1.1 Logística del líder de la línea producción.



Grafo 1.2 Logística del ingeniero de calidad.



Grafo 1.3 Logística del materialista de la línea producción.



Grafo 1.4 Logística de la línea ALPHA KEEN

La logística de la línea de ALPHA KEEN es integrada por varios elementos importantes en el proceso obsérvese la figura 1.5 el cual muestra el diagrama de recorrido de la instalación y los principales elementos que tiene la línea de ALPHA KEEN.

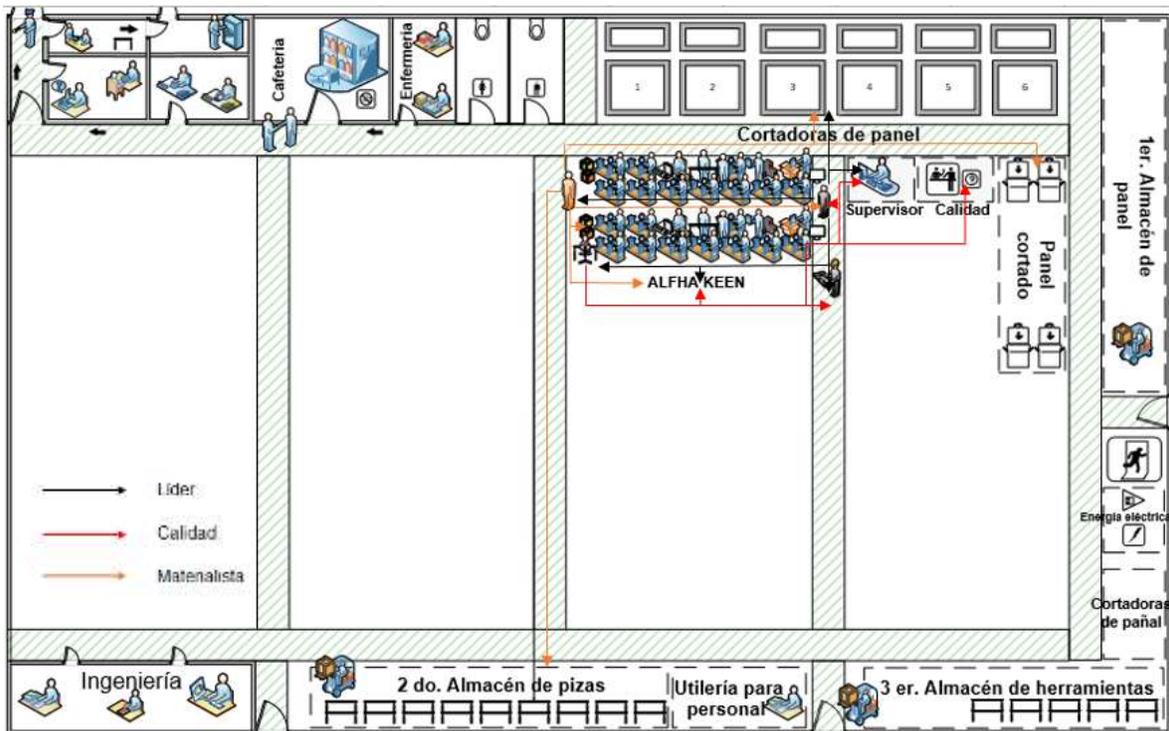


Figura 1.5 Diagrama de recorrido en la instalación.

Construcción del modelo

La construcción del modelo metodológico se basa en la filosofía de la calidad del autor (Banks, Año 2005). Se analiza bajo el enfoque de la filosofía Deming para conocer el ambiente de trabajo (Carro & Gonzáles), las áreas que se relacionan con la línea de producción son; la materia prima de los 8 modelos diferentes y los modelos de bolsas de aire de rodilla denominados como ALFHA DKAB y PKAB, ALFHA VS SPORT DKAB y PKAB, ALFHA D1BLI DKAB y PKAB, D2JCI DKAB y PKAB. El modelo propuesto se basa en el estudio que se realizó dentro de la línea ALFHA KEEN, analizando el SCRAP y los tiempos muertos de un lote de producción de 1792 piezas de bolsas de aire. Se identificó la cantidad de SCRAP que se generó en la producción de cada uno de los modelos y para cada modelo se tiene un contenedor con capacidad de almacenar 224 piezas de bolsa de aire. Actualmente en la industrias del sector automotriz las principales problemática son: el SCRAP que es generado por a través de dos factores importantes (Ver figura 1.6) y tiempos muertos (Ver figura 1.7).

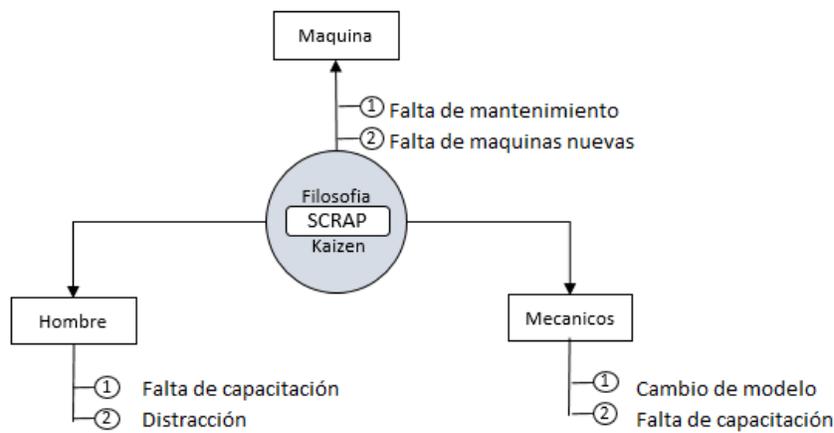


Figura 1.6 Factores que influyen en el SCRAP.

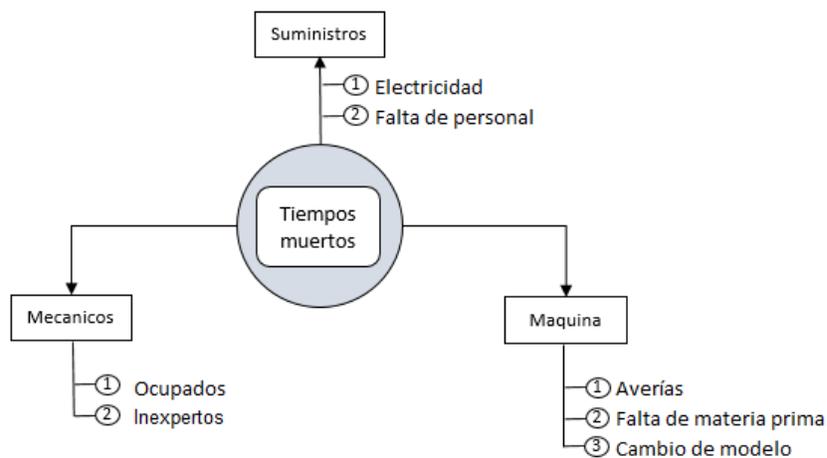


Figura 1.7 Factores que influyen en los tiempos muertos.

Ambos factores tienen un grado de importancia en la industria generando pérdidas en las empresas, dichos problemas conllevan a retrasar la producción y no a completar la demanda solicitada y como consecuencia de ello se genera tiempos extras pagando a un costo doble por hora. La metodología que se llevó a cabo en esta investigación tiene un enfoque sistémico, aplicable para industrias manufactureras (Ver figura 1.8).

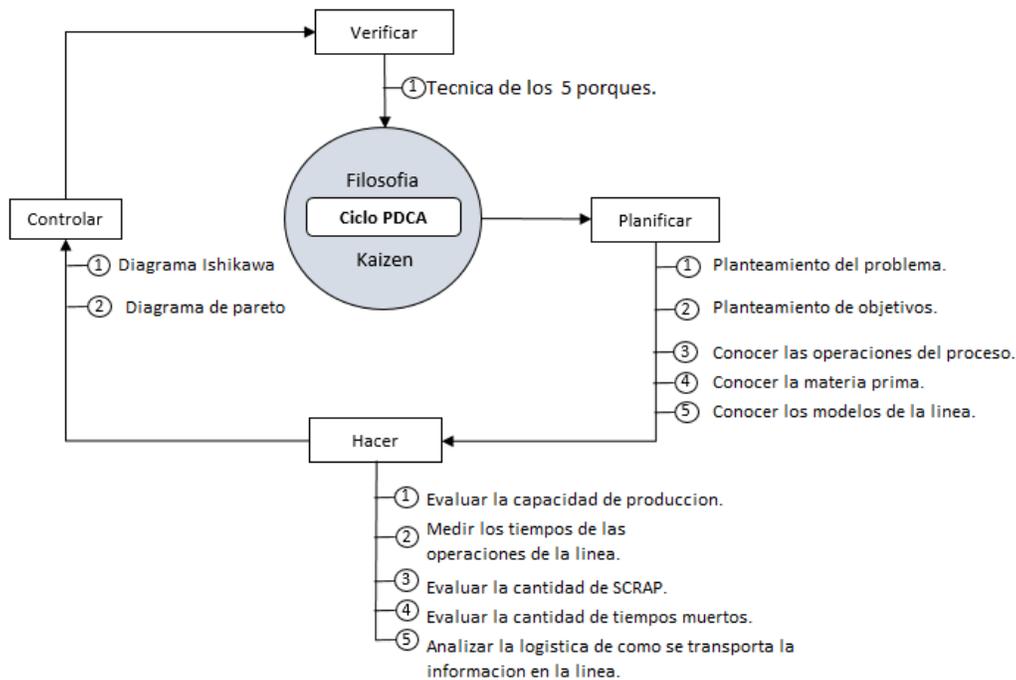


Figura 1.8 Modelo metodológico para industria automotriz

3. Resultados

Realizando la metodología antes mencionada en la línea de producción de ALFHA KEEN, de la empresa Tapes Mexicana S.A. de C.V. se da los resultados que en un lapso de tiempo de 20 horas de fabricación de bolsa de aire, se tiene que 394 minutos son generados por tiempos muertos equivalente a 6 horas con 56 minutos, donde el 69% son ocasionados por averías, 24% cambio de modelo y 7% falta de materia prima en la línea de producción. Para el análisis de SCRAP se fabricó un lote de producción de 1792 bolsas de aire, de las cuales 224 piezas se hicieron SCRAP por defectos en las máquinas con un 96% y 4% en cambio de modelo, mismos en los que pueden estar influyendo la falta de capacitación de operadores y mecánicos. Mediante un análisis minucioso de la cantidad de SCRAP por máquina se tiene que 22% es de la operación 300, 12% en la 360, 10% en la 380, 330 y 310, 9% en la 340 y 320, 7% en la 390, 6% en la 350, 4% en la 370 y 1% en la 410 y 500. Mediante los resultados obtenidos se propone un cambio en la línea de producción donde la operación 300 que es la inicial, ya no debe de hacer un recorrido largo de .40 segundos en promedio para depositar el SCRAP generado en su operación, como también los cambios de modelo y materiales sospechosos que se produzcan en el proceso (Ver figura 1.9) y aplicando un ajuste Kaizen (Ver figura 1.10).

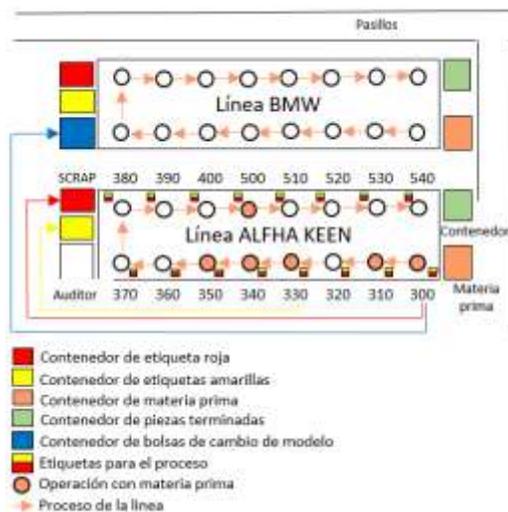


Figura 1.9 Línea de producción actual.

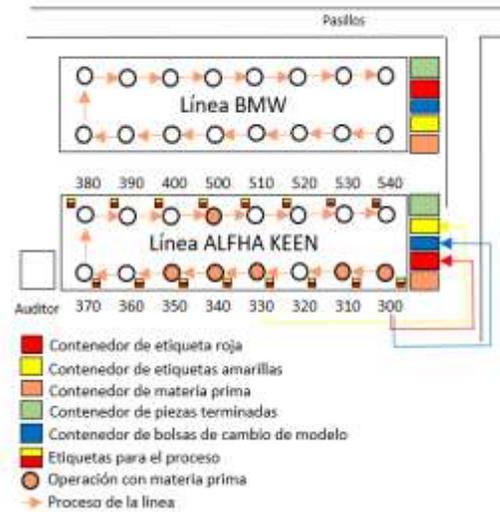


Figura 1.10 Línea de producción propuesta.

Discusión

En este estudio que se ha formulado e identificado una propuesta Kaizen en donde se disminuyen los tiempos de recorrido en la línea de producción de ALFHA KEEN, tomando en cuenta diversos aspectos que influyen en el proceso como lo son el SCRAP que se genera un 12.5 % en el proceso, los tiempos muertos que se generan un 33% a través de cambios de modelo, falta de materia prima o por averías en las maquinas. Lo que busca el modelo metodológico propuesto es reducir la cantidad de pérdidas de materia prima, reducir los tiempos que se generan en el proceso y aumentar la producción de bolsas de aire para cubrir la demanda y obtener mayor utilidad para la empresa.

De acuerdo al estudio analizado en la empresa Tapes Mexicana S.A. de C.V. se encuentra la línea de producción actual, donde se analizó 20 horas de trabajo para un lote de 1792 piezas, en donde se debe estar saliendo en promedio 90 piezas por hora, contemplando un 10% de tolerancia que se generó en el proceso a través del estrés de operadores, cansancio al estar operando las maquinas etc. En promedio la operación 300 se lleva .40 segundo en llevar un SCRAP al contenedor y para 241 piezas que se generaron durante el proceso se lleva 1 hora 36 minutos perdidos en el proceso en llevar el SCRAP a contenedores de etiquetas rojas. Véase la figura 1.9 donde se observa la línea actual y el recorrido de la operación.

El modelo metodológico queda definido como propuesta para mejorar para la empresa. Diseñado para reducir los tiempos, aumentar la producción, generar más ingresos y reducir incurrir a tiempos extras para cubrir la demanda.

En este artículo queda en evidencia la importancia de conocer el proceso de producción de una línea del sector automotriz, en donde se relacionan líder, materialista, ingeniero de calidad, ingeniero de diseño, supervisor y operadores, donde todos influyen en el proceso de fabricación de bolsas de aire.

5. Conclusiones

En la presente investigación se diseñó un modelo metodológico para el análisis de una línea de producción de ALFHA KEEN, en la empresa Tapes Mexicana S.A de C.V. del sector automotriz elaborando una propuesta Kaizen, desarrollando una metodología que permite analizar cada estación de trabajo y personal involucrado en el proceso.

El procedimiento metodológico encuentra las raíces principales del problema de la línea de producción. De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso se desarrolló una propuesta metodológica que permite reducir el Plan Maestro de la Producción de la línea de producción actual, trayendo beneficios a la empresa. Aplicando Kaizen para una mejora continua se ajusta la línea de producción obsérvese figura 1.10, en donde se determinó mediante la práctica que la operación 300 tiene un tiempo de 0.12 segundos en llevar el SCRAP al

contenedor de etiqueta roja. Y como consecuencia de cambio se obtiene optimizar 1 hora con 7 minutos de; 241 piezas que se generaron de SCARP, mismo que salieron de la producción de 1792 piezas. Se obtiene un beneficio de producción de 167 piezas equivalente a 1 hora con 51 minutos de trabajo, lo que significa un mayor volumen de producción y reduce en un 67% los tiempos muertos que se generan al depositar el SCRAP a los contenedores de la línea actual.

La propuesta metodológica contempla los problemas principales que se presentan en la línea como lo son, Tiempos muertos, SCRAP y la falta de capacitación que pueden estar influyendo al estar siendo operada una maquina por trabajadores o mecánicos.

5. Referencias

- Banks, J. (Año 2005). *Control de calidad*. México, D.F.: Editorial Limusa - Wiley.
- Bernal, J. J. (23 de Agosto de 2013). *Ciclo PDCA*. Obtenido de Ciclo PDCA: <http://www.pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/>
- Carro, R. P., & Gonzáles, D. G. (s.f.). *Administración de la calidad total*. Universidad del mar de la plata.
- coello, C. (2016). *Asociación Española para la Calidad AEC*. Obtenido de Asociación Española para la Calidad AEC: <http://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/diagrama-sipoc>
- Earley, T. (2016). *Lean Manufacturing Tools*. Obtenido de Lean Manufacturing Tools: <http://leanmanufacturingtools.org/489/jidoka/>
- Humberto, G. P. (Año 2005). *Control Total y Productividad*. México, D.F.: Editorial Mc Graw Hill. 2º Edición.
- Krajewski. (Año 2013). *Administración de operaciones*. México, D.F.: Editorial PEARSON Decima edición.

6. Notas bibliográficas

- El **Ing. Israel Zarate Hernández**, es Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial que imparte el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Israel_yhernandez@hotmail.com
- El **Dr. Saúl Santiago Cruz** es maestro en Administración Industrial y profesor investigador por la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, doctorante en Medio Ambiente por la Universidad del Noreste, Tampico Tamaulipas. ssantiagoc@itsm.edu.mx
- El **MI. Margarito Landa Zárate** obtuvo su título de Maestría en Ingeniería Industrial en el Tecnológico de Puebla de la ciudad de Puebla, Puebla.

Teoría de restricciones: Un caso de estudio en el proceso de empaque de *lima persa* en el Municipio de Martínez de la Torre.

Isaías Julián Sarmiento. Ing¹, Dr. Gregorio Fernández Lambert², Ing. Rafael Cuellar Lázaro³,
Dr. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Héctor Giovany Vázquez Rodríguez⁵.

¹ El Ing. Isaías Julián Sarmiento, es Profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz. E-mail. ijulian@tecmartinez.edu.mx

² El Dr. Gregorio Fernández Lambert, es Profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-mail. gfernandezl@itsm.edu.mx

³ el Ing. Rafael Cuellar Lázaro, es Profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Martínez de la Torre, Veracruz E-mail. rcuellar@tecmartinez.edu.mx

⁴ El Dr. Isidro Rodríguez Montoro, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. E-Mail. irodriguez@itsm.edu.mx

⁵ Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, es estudiante de la Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. E-mail. ige.vazquez.riguez@gmail.com

Resumen— Este estudio reporta la aplicación del Paso 1 de la metodología de la Teoría de Restricciones propuesta por Goldratt (1993) en el proceso de empaque de lima persa en la empresa VECA PRODUCE, S.A. de C.V., ubicada en Municipio de Martínez de la Torre, Ver-México. El estudio divide el proceso de empaque en dos fases: La fase de vaciado, sanitización, y clasificación de la fruta, y la segunda fase, definida como empaque-embalaje de fruta. Este estudio reporta el análisis de la primera fase de empaque. Los resultados demuestran que la operación de empaque manual en la segunda fase, es la operación más lenta del sistema; mientras que, la desinfección de fruta de la primera fase de empaque de fruta, representa la segunda restricción que a lenta el sistema con un tiempo improductivo de 3.33 minutos por corrida equivalente a 46.62 minutos por jornada, considerando un promedio de 14 lotes que correspondiente a un costo promedio de \$ 944.13 pesos por jornada.

Palabra(s) clave—Teoría de restricciones, lima persa, beneficio económico.

Abstract— This study reports on the implementation of Step 1 of the methodology of the theory of constraints proposed by Goldratt (1993) in the process of packing Persian lime in the company VECA PRODUCE, S.A. de C.V., located in the Municipality of Martinez de la Torre, Ver-Mexico. The study divides the packing process in two phases: Phase drainage, sanitation, and classification of the fruit, and the second phase, defined as packaging-packing fruit. This study reports the analysis of the first phase of packaging. The results show that packaging manual operation in the second phase, is the slower system operation; whereas, disinfecting fruit first phase packing fruit, it represents the second restriction slow the system with a downtime of 3.33 minutes per equivalent of 46.62 minutes per day run, considering an average of 14 batches corresponding to an average cost of \$ 944.13 pesos per day

Key words – Theory of Constraints, Persian lime, economic benefit.

1. Introducción

Este caso de estudio se desarrolla en la empresa Veca Produce, S.A. de C.V.; una PyME mexicana con giro agroindustrial dedicada a la producción, empaque y comercialización de *Limón Persa* (*Citrus latifolia* Tanaka) en el mercado nacional, y de exportación. La producción, empaque y transporte del producto le permite controlar su cadena de suministro que va desde la selección de la semilla, cultivo, cosecha, empaque, transporte, hasta sus clientes, y así entregar un producto con la calidad e inocuidad requerida según los diferentes mercados internacionales a los que exporta, como lo son el mercado de los Estados Unidos, Japón, Europa y Corea del Sur, con presentaciones definidas por el peso y calibre en 40 libras: 110, 150, 175, 200, 230, 250; 10 libras: 42, 48, 54, 60, 63; 14 lb: 50, 60, 72 y 2 kg: 20, 24, en diferentes marcas como Fresh Valley, King Veca, por citar algunas.

Apoyado con la Teoría de Restricciones, el objetivo de este caso de estudio es presentar los avances de investigación relacionada con la sincronización del proceso de empaque de lima persa. Se reporta el desarrollo

del Paso 1 de la metodología de la Teoría de Restricciones: el primero se refiere a la identificación de la restricción del sistema, y el segundo a decidir cómo explotar la restricción de capacidad, con la finalidad de analizar el efecto que tiene la capacidad restringida en el proceso de empaque de lima persa, y de generar información y datos para que en un segundo momento se analicen los recursos tecno-económico necesarios para explotar la restricción, y con ello mejorar el flujo que aumente la capacidad del proceso de empaque.

El trabajo está organizado de la siguiente forma: la sección dos muestra el análisis del proceso, la información y datos recolectados y las restricciones identificadas, así como el efecto que tiene sobre el sistema. En la sección tres muestra los resultados que se obtuvieron en términos de tiempo y costo improductivo, la sección cuatro se hace una interpretación del trabajo realizado, así como proponer en fase inicial como explotar la restricción de mayor efecto. En la sección cinco se hace un agradecimiento a todas las personas que apoyaron para la realización del presente trabajo y por último se anexa una descripción biográfica.

2. Método.

La Teoría de Restricciones (*TOC*, por sus siglas en inglés) fue desarrollada por el físico israelí Eliyahu Goldratt y ha demostrado ser un enfoque poderoso que enseña de una forma ordenada y de sentido común cómo lograr un mejoramiento continuo y visible en términos de utilidades, basado en la administración del recurso más débil (la restricción) que existe en cualquier organización, y convertirlo en una ventaja.

Los impactos logrados por su implementación en diversas organizaciones reportan las posibilidades de mejoramiento que ofrece, en aspectos como reducción en los tiempos de entrega de los productos, reducción en los inventarios, incremento de las utilidades y de los clientes potenciales, entre otros beneficios (González Gómez, Ortigón Mosquera y Rivera Cadavid, 2003).

Una restricción es considerada cualquier recurso que limita a la empresa lograr su objetivo, es decir, que impida que gane más dinero. Cuando se habla de mejoramiento continuo se hace referencia al mejoramiento de los procesos, a la forma de solucionar los problemas, al análisis de los costos, al manejo del talento humano, a la programación efectiva de la producción, a la identificación correcta de cuál es la restricción de la empresa y cómo eso está afectando la satisfacción del cliente y el crecimiento económico de la empresa.

La *TOC* asume que para controlar la producción y por ende sincronizar las operaciones de manufactura es necesario identificar y controlar las restricciones que existan en la empresa (materiales, capacidad, personal, entre otras), las cuales afectan la meta de cualquier organización (ganar dinero). Para lograr la sincronización, la *TOC* propone su sistema logístico DBR, el cual se basa en la definición de los parámetros *tambor*, *amortiguador* y *cuerda*.

Para Ortiz Flores, et al (2008) El *tambor* se define como aquella máquina del sistema de producción que tiene la capacidad de producción más lenta, conocido también como cuello de botella o recurso con capacidad restringida (CCR, de las siglas en inglés de Constraint Capacity Resource). El *amortiguador* se define como el inventario representativo del tiempo de respuesta de las operaciones anteriores al cuello de botella, que asegura que éste siempre tenga material para trabajar y la *cuerda* se define como el sistema o plan que se encarga de comunicar al cuello de botella con los recursos restantes, programando su carga de trabajo a la velocidad de trabajo de este cuello de botella.

Cabarcá Reyes, et al., (2010) señalan que a nivel internacional se han realizado muchas investigaciones para determinar cuál ha sido el efecto de la teoría de restricciones al momento de implementarla en diferentes empresas. Mabin V. & Balderstone S. (2003). muestra el resultado exitoso de la implementación de los principios de la Teoría de Restricciones en más de 80 empresas manufactureras, que demuestran que se logran mejoras significativas a niveles tanto operativos como financieros, además indican que las medidas de desempeño operativas que se tienen en cuenta son el lead time, el tiempo de ciclo, el DDP y el nivel de inventario, que para la mayoría de los casos mostraron un aumento considerable gracias a la aplicación de *TOC*. En este sentido, Cabarcá Reyes, et al., (2010) resaltan los casos de éxito sobre la aplicación del *TOC* y su efecto positivo para las empresas; por otro lado, la literatura reporta una gran variedad de casos de aplicación en el sector manufacturero y prácticamente una escasa o nula aplicación en el sector agroindustrial específicamente en los procesos de empaque de frutas y vegetales.

Aguerre (2009), describe que para desarrollar el proceso de mejora continua propuesto por Goldratt, la Teoría de Restricciones se basa en el siguiente ciclo compuesto por cinco pasos:

Paso 1. Identificar la(s) restricción(es) del sistema

Paso 2. Decidir cómo explotar la(s) restricción(es) del sistema

Paso 3. Subordinar todas las actividades del sistema a la decisión anterior.

Paso 4. Elevar la(s) restricción(es) del sistema.

Paso 5. Implementar y volver al paso 1 para analizar el sistema.

Para Goldratt (1993), la Teoría de Restricciones reconoce que la producción de un sistema consiste en múltiples pasos, los cuales definen la producción del sistema, uno como consecuencia del otro, restringido por los pasos menos productivos. En consecuencia, la medición de la meta se realiza a través de indicadores como el Trúput¹ (T), Gastos Operativos (GO), Inventarios (I). Goldratt (2002), define el Trúput (T) como “la velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas”, midiendo cuánto dinero genera el sistema, tomando en cuenta:

- Utilidades a través de ventas
- Ingresos como intereses cobrados
- Regalías por patentes, etc.

El Trúput¹ asociado a un producto se define matemáticamente de acuerdo a la Ecuación 1:

$$T = N(PV - CTV) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo:

T: Trúput.

N: Cantidad de unidades cobradas en un período.

PV: Precio de venta del producto.

Trúput¹: Es la versión abreviada de Throughput.

Los Costos Totalmente Variables (CTV) son aquellos que aumentan de manera directamente proporcional con el volumen de ventas, tales como materias primas y componentes, servicios de terceros, comisiones por ventas, pago por proyecto, etc. Los Gastos Operativos (GO) es todo el dinero que el sistema gasta en convertir el inventario en Trúput. (Goldratt, 2009). Son todos los gastos directamente proporcionales con las ventas. Es decir, los gastos en los que la empresa incurre, aunque no venda. Por ejemplo: sueldos y jornales (semanales, mensuales, etc.), amortizaciones, arrendamiento, materias primas, cuotas de préstamos, pagos de servicios públicos, etc. (Herrera, 2003). Los Gastos Operativos, pueden expresarse de acuerdo a la Ecuación 2:

$$GO = \text{Sueldos} + \text{gastos de fabricación} \quad (\text{Ecuación 2})$$

El Inventario (I) es todo el dinero que el sistema invierte en elementos que se propone vender (Krajewski et al., 2008). Inventario es el dinero almacenado o retenido dentro del sistema. Algunos componentes del inventario son: stocks de materias primas, de material en proceso y de productos terminados, edificios propios, maquinaria, dinero en efectivo, patentes, clientes por cobrar, etc. Así definida, la Inversión consiste en todos aquellos elementos que pueden transformarse en dinero mediante su venta.

TOC sostiene que cualquier valor que se asigne a estos elementos es inexacto, ya que solo cuando alguien los compra se sabe cuánto valen realmente. Los criterios de evaluación de Inversión que usa TOC están enfocados, al igual que todas las medidas de desempeño definidas en la metodología, a inducir a las personas de la organización a actuar según lo que es bueno para el sistema y a disuadirlas de actuar según lo que es malo para el sistema. Estos inventarios son también conocidos como Inversiones operativas (Iglesias, 2000).

El Beneficio Neto (BN), definido en la Ecuación 3, expresa la suma de todo el Trúput de un período, por ejemplo 1 mes y la resta de todos los Gastos Operativos correspondientes a ese periodo (Iglesias, 2000).

$$BN = \text{Trúput} - GO \quad (\text{Ecuación 3})$$

El ROI, es otro indicador que relaciona la utilidad con la inversión es el Retorno sobre la Inversión (ROI); este indicador se calcula como se describe en la Ecuación 4:

$$ROI = \frac{BN}{Inversion "I"} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Sin embargo, si existen valores altos de beneficio y un alto ROI, no es razón para quedarse tranquilo puesto que si no hay disponibilidad de efectivo es difícil que la empresa esté saludable (Agudelo & Escobar, 2010).

Desarrollo.

Para identificar la restricción del proceso, TOC propone tres metodologías. Las dos primeras consisten en detectar de manera visual o determinística la capacidad teórica del proceso. La tercera metodología es un enfoque probabilístico, en el que se considera la variabilidad de los elementos que componen el sistema. Debido a la naturaleza variable del proceso de empaque de lima persa, se decidió optar por la primera y parte de la segunda metodología donde se recolectaron datos como tasa de flujo de fruta por intervalo de tiempo, para ello se utilizaron herramientas de la Ingeniería Industrial como diagrama de flujo de proceso, estudio de tiempos con cronómetro, tasa de flujo por intervalo de tiempo, herramientas como hoja de verificación, estratificación, 5W+1H, medidas estadísticas y la metodología para el análisis y solución de problemas (MASP) apoyado en el ciclo Deming. La Figura 1 muestra las fases del MASP, que para este estudio sólo incluye hasta la fase 3 y el Paso 1 de la metodología TOC.

La Figura 2 describe las actividades desarrolladas para “Identificar la restricción del sistema” correspondiente al Paso 1 de la metodología TOC. El proceso inicia con una descripción del proceso de empaque a través de un diagrama de flujo del proceso, en el cual se resaltan las operaciones que agregan valor en dicho proceso. La Figura 3 describe las operaciones del proceso de empaque, el tiempo de la operación en segundos; con la finalidad de identificar las restricciones de capacidad.

PDCA	Flujo	Fase	Objetivo
P	1	Identificación del problema	Definir claramente el problema. Reconocer su importancia.
	2	Observación	Investigar las características específicas del problema con una visión amplia y de varios puntos de vista.
	3	Análisis	Descubrir las causas fundamentales del problema
	4	Plan de acción	Elaborar un plan para eliminar las causas fundamentales.
H	5	Acción	Eliminar la restricción
V	6	Verificación	Verificar si se ha eliminado la restricción
		(Restricción fue resuelta)	
A	7	Estandarización	Prevenir la aparición de la restricción
	8	Conclusión	Documentar el proceso de solución para trabajos futuros.

Figura 1. Fases del MASP.

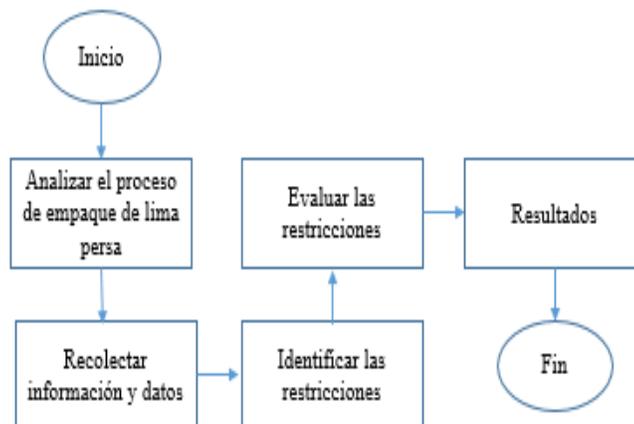


Figura 2. Metodología utilizada para el caso de estudio.

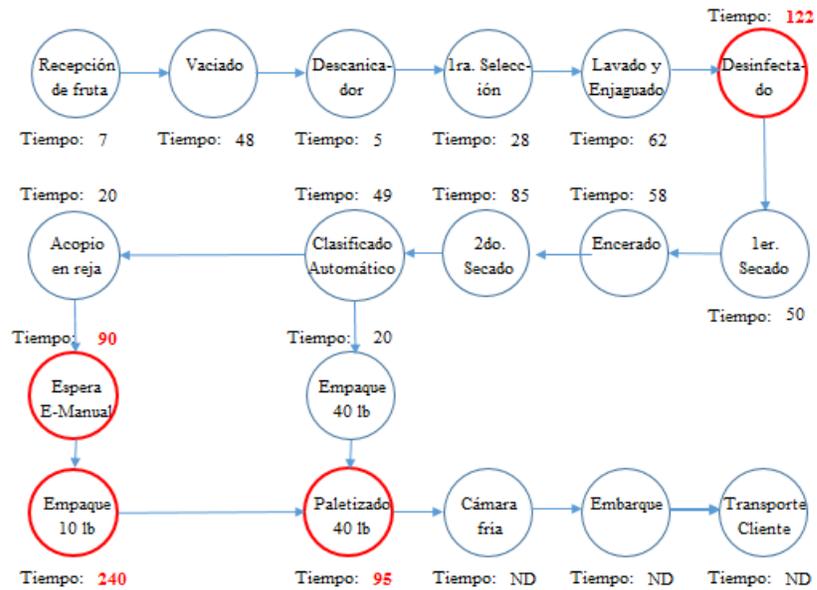


Figura 3. Descripción de proceso de empaque de lima persa. Elaboración propia

Con base a los tiempos de operación, se identifican cuatro operaciones críticas.

- La operación de desinfección de fruta.
- El tiempo de espera del limón recolectado en rejas previo al proceso de empaque manual.
- Proceso de empacado manual de 10 lb.
- El proceso de paletizado.

La operación de desinfectado de fruta, actualmente se hace por inmersión de la misma como se muestra en la Figura 4. La lima persa llega a la tina de desinfección por medio de una banda que se desplaza a una velocidad sincrónica de 50 Hertz. El proceso de permanencia de la fruta en la tina de desinfección es de cuando menos 122 segundos, lo cual hace esta operación como el segundo recurso más lento del sistema.



Figura 4. Operación de desinfectado de lima persa en la Tina de desinfectado.

Para medir el tiempo de desplazamiento de la fruta en la tina de desinfección, se realiza un muestreo del mismo según su calibre. Los resultados de esta medición se presentan en la Tabla 1.

Calibre	Tina		Diferencia	Observación
	Entrada	Salida		
250	2.86	3.80	0.94	
230	3.61	4.80	1.19	
200	16.92	22.52	5.59	
175	19.35	25.75	6.40	
150	19.15	25.48	6.33	
110	6.31	8.39	2.09	
Total (kg/m)	68.20	90.74	22.55	
Hora (min)	60.00	60.00	60.00	
Total (kg/hr)	4091.86	5444.57	1352.70	
Tonelada (Ton)	1000	1000	1000	
Ton/Hora	4.09	5.44	1.35	La diferencia de fruta entre la entrada y salida se debe al limón acumulado-estancado, provocando una operación lenta de "desinfectado de la fruta" en el sistema de 1.35 toneladas por hora que se dejan de procesar-empacar.

Tabla 1. Flujo de lima persa en Tina de desinfectado (kg minuto⁻¹).

Si bien dentro del sistema global, la etapa de desinfección en la tina es el mayor tiempo dentro del sistema, el flujo de entrada de fruta con respecto a la salida, no representa un cuello de botella, hay algo importante que comentar en este proceso. El proceso de empacado de lima persa se lleva a cabo por lotes, cada lote corresponde a un proveedor, la finalidad de trabajar así es para determinar el rendimiento de fruta y con ello el pago según la calidad obtenida.

Al inicio de cada corrida de lote de limón, la tina de desinfectado está vacía, la fruta comienza a caer en la tina de desinfectado y se va acumulando, flotando en ella hasta que, por efecto de empuje, unos con otros, provocan que vayan hacia la salida de dicha tina al siguiente paso del proceso. La Tabla 2 muestra el tiempo que tarda la tina de desinfectado en llenarse de limones para provocar el efecto de empuje y comiencen a salir.

Evento	Tiempo
1	02:39
2	02:10
3	02:21
4	02:24
Promedio	02:23

Tabla 2. Tiempo de espera de llenado de limones en la operación de desinfectado.

También se realizó un muestreo para determinar el tiempo que un limón permanece en la tina de desinfectado, por calibre de cada fruta, por línea de procesos y con dos velocidades de frecuencia. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Los resultados de este muestreo podemos apreciar que a mayor velocidad del vaciado es menor el tiempo de espera de cada limón en la tina de desinfectado, además la línea 2 es más lenta que la línea 1.

El estudio demuestra que existen dos tiempos de espera: el primero es el tiempo que tarda la tina en llenarse de limones que es de aproximadamente 2.23 minutos, y el segundo, corresponde al tiempo de espera que un limón permanece en la tina de desinfección que es de 2.10 y de 1.42 minutos con una velocidad sincrónica de 50 y 60 Hertz respectivamente. Si se suma el tiempo de espera 1 y el 2, (a 50 Hertz) da un total de tiempo de demora de aproximadamente 4.33 minutos. Para determinar el tiempo total de perdido en un día de trabajo se analizaron el número de lotes que procesan por día, la Tabla 4 muestra el resumen de los lotes procesados en un día.

Hertz	50	Eventos														Promedio
Línea 1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Calibre	250	02:25	02:02	02:20	02:05	02:13	02:10	02:11	02:28	02:07	02:12	02:13	02:19	02:14	02:20	02:10
	230	02:10	02:05	02:14	02:03	02:08	02:07	02:05	02:05	02:11	02:09	02:07	02:18	02:08	02:32	
	200	02:04	01:59	02:17	02:00	02:05	02:03	02:02	02:03	02:18	02:01	02:05	02:10	02:05	02:16	
	175	03:00	02:04	02:13	02:04	02:20	02:17	02:15	02:17	02:08	02:10	02:16	02:15	02:16	02:22	
	150	02:20	02:01	02:11	02:06	02:09	02:07	02:10	02:03	02:06	02:05	02:07	02:11	02:08	02:14	
	110	02:02	02:03	02:18	02:13	02:09	02:07	02:08	02:05	02:05	02:11	02:08	02:13	02:08	02:14	
Hertz	60	Eventos														Promedio
Línea 1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Calibre	250	01:44	01:41	01:30	01:32	01:33	01:34	01:23	01:29	01:33	01:31	03:44	01:45			01:42
	230	02:09	01:42	01:40	01:43	01:44	01:46	01:26	02:01	01:44	02:05	01:44	01:42			
	200	01:22	01:47	01:56	01:51	01:48	01:48	01:15	01:55	01:42	01:40	01:45	02:05			
	175	01:37	01:45	01:43	01:47	01:46	01:45	01:22	01:49	01:40	01:42	01:41	01:25			
	150	01:43	02:01	02:01	01:52	01:53	01:49	01:11	01:58	01:48	01:31	01:12	01:10			
	110	01:45	01:18	01:43	01:44	01:42	01:36	01:17	01:45	01:37	01:46	01:32	01:12			

Tabla 3. Tiempo espera de cada lima persa en la operación de desinfectado.

Corrida de lotes por día					
Día	Cantidad de lotes	Día	Cantidad de lotes	Día	Cantidad de lotes
1	10	21	13	41	13
2	15	22	5	42	16
3	16	23	13	43	15
4	19	24	18	44	13
5	9	25	19	45	6
6	14	26	20	46	6
7	17	27	15	47	19
8	18	28	5	48	22
9	19	29	9	49	17
10	4	30	12	50	18
11	11	31	24	51	6
12	17	32	19	52	6
13	13	33	8	53	12
14	21	34	6	54	18
15	12	35	19	55	16
16	5	36	19	56	15
17	11	37	14	57	6
18	13	38	15	58	6
19	13	39	5	59	
20	17	40	7	60	
Promedio General			13.26	Lotes por día	

Tabla 4. Número de lotes procesado por día. Fuente de elaboración propia.

Para determinar lo que la empresa está perdiendo por el tiempo improductivo se determinaron los gastos de operación de únicamente desde el proceso de vaciado hasta la salida de la fruta de la selección automática en un intervalo de tiempo de una hora y con respecto a un volumen de 500 rejas aproximadamente 13,500 kilogramos de fruta. La Tabla 5 muestra el resultado.

Costo	Cantidad
Rejas	500
Kilos	13500
Elemento	Monto
Insumos	\$ 348.57
Mano de obra	\$ 806.00
Energía eléctrica	\$ 60.53
Total (pesos)	\$ 1,215.10

Tabla 5. Gasto de operación por hora para procesar 500 rejas.

De acuerdo a la ficha técnica del producto Tsunami 100 que utilizan como desinfectante de fruta, el tiempo de inmersión o aspersión mínimo de contacto para lograr la desinfección es de 45 segundos, por lo tanto, el tiempo necesario en la operación de desinfectado debe ser de mínimo 45 y máximo 1 minuto; si dejamos un estándar de tiempo de 1 minuto entonces existe una muda (desperdicio) de tiempo de 3.33 minutos. La Tabla 6 muestra la pérdida actual que tiene la empresa por este tiempo improductivo.

Pérdidas (promedio)					
Tiempo (improductivo) promedio de espera por lote en minutos	Numero de lotes promedio por día	Tiempo improductivo total por día (horas)	Gasto promedio de operación por hora	Pérdida económica promedio por día (pesos)	Pérdida económica promedio por semana, 6 días de trabajo (pesos)
3.33	14	0.777	\$ 1215.1	\$ 944.13	\$ 5,664.80

Tabla 6. Pérdida económica promedio semanal.

Es importante señalar que se tienen días o temporada alta de producción donde llegan a correr hasta 24 lotes, por ende, la pérdida en tiempo y recurso económico es mayor; perdiendo 1.332 horas y \$ 9,711.08 pesos aproximadamente por en una semana (6 días laborables)

Las siguientes tres restricciones, el tiempo de espera del limón acopiado en rejas acumulado previo al siguiente proceso “empaque manual 10 lb” se ve afectado precisamente porque el proceso de empaque manual es más lento que el proceso anterior “acopio de limón en reja”. Para explotar la restricción identificada siguiendo la metodología *TOC* sería necesario un amortiguador de tiempo al proceso anterior, para este caso no es posible, ya que sería alentar todo el proceso anterior mismo que en términos de tiempo y económicos no es factible.

La alternativa que proporcione una solución mejor es trabajar con el recurso más débil, “el empaque manual”, la propuesta sería, en primera colocar más operadoras “empacadoras de 10 lb” y aplicar una selección automática más estricta en cuanto a la calidad a empacar; la cual es una variable de mucha importancia que está directamente relacionada con la velocidad de empaque manual, al no venir la fruta con un buen nivel de selección, los operarios pierden mucho tiempo en buscar y seleccionar la fruta que tenga los parámetros definidos de calidad según el cliente-mercado.

En cuanto a la asignación del número de operarios “empacadoras” sería buscar un modelo matemático que proporcione buenas soluciones al respecto y/o hacer experimentos si al recibir las empacadoras limón mejor clasificado aumenta la velocidad de empaque manual y por supuesto disminuye el inventario de producto en proceso “limón acopiado en rejas”

Para finalizar, la última restricción identificada “paletizado”, es una actividad manual que está en función de la habilidad del personal de empaque. Si bien el tiempo dentro del sistema, ha sido considera como alto, la relevancia de esta actividad se compensa con la tolerancia que existe dentro del sistema para el almacenamiento de la fruta en salas frías, y que puede ser reducida en su tiempo con la inserción de mayor personal.

3. Resultados

Los resultados obtenidos en el presente caso de estudio sobre la aplicación de la metodología *TOC* en el proceso de empaque de lima persa son los siguientes:

Se identificaron cuatro restricciones de capacidad, la primera fue en el proceso de desinfectado de fruta, la segunda el nivel de inventario en proceso “acopio de rejas previas al empaque manual”, la tercera es la operación más lenta “el proceso de empaque manual” y por último el proceso de paletizado, donde solamente se considera de gran interés de la del proceso de desinfectado y la del empaque manual, para el caso de la primera porque hay tiempo improductivo de aproximadamente 4.33 minutos, de los cuales se puede acortar a 45 segundos a 1 minuto máximo, tiempo suficiente para lograr el desinfectado según la ficha técnica del producto Tsunami 100, lo que significa un ahorro de 3.33 minutos, para ello es necesario analizar que recurso tecno-económico se puede implementar para optimizar el tiempo en esta etapa, entre algunas propuestas son desinfección por aspersión con un rediseño completo de la tina u optar por los diseños que ya se ofrecen en el mercado, en algunas cotizaciones preliminares se encontró que hay sistemas de desinfección por aspersión con una capacidad de hasta 25 toneladas por hora un recurso con un flujo continuo, esto ayudaría en gran medida a mejorar los tiempos de proceso y a sincronizar las operaciones.

Para el caso del empaque manual es importante evaluar alguna técnica que ayuda a determinar el número adecuado de operarios a asignar de tal manera que incremente la velocidad del empaque manual y a su vez contribuye a disminuir el inventario en proceso “el acopio de rejas acumuladas previas al empaque manual” tomando en cuenta el nivel de la calidad del clasificado de la fruta, de esta forma se elimina el cuello de botella. Por último, el paletizado no representa mucho problema porque esta restricción se elimina agregando a otro operador al proceso.

Una vez corregida las restricciones de capacidad y siguiendo la metodología *TOC* hace énfasis en que es probable que se origine una nueva restricción, por ende, es conveniente volver a analizar el proceso y repetir el ciclo de análisis apoyado de este enfoque de análisis *TOC*.

4. Conclusiones

El presente trabajo tuvo la oportunidad de aplicar la metodología del *TOC* para identificar las restricciones de capacidad del proceso de lima persa, es importante señalar que la literatura reporta muchos casos de aplicación en empresas manufactureras y en un porcentaje mejor en empresas de servicios y prácticamente hay ausencia de casos aplicados al sector agroindustrial específicamente en procesos de empaques de frutas y vegetales, espero y este aporte genere información acerca de la metodología aplicada a este sector.

La restricción de mayor importancia en términos de tiempo improductivo fue el proceso de desinfectado de fruta donde se puede reducir hasta 3.33 minutos por cada corrida de cada lote lo que significa un ahorro económico-beneficio promedio \$ 944.13 al día, por semana \$ 5, 664.8, por mes (4 semanas) \$ 22, 659.2 y al año \$ 271,910.4 (considerando 12 meses de trabajo). Los sistemas de desinfección de fruta por aspersión oscilan desde los \$ 4,500 a 8,500 dólares si traducimos en pesos este costo de adquisición, el sistema más caro saldría en aproximadamente en \$ 161, 500 con un tipo de cambio de \$ 19 pesos, como podemos ver el sistema se pagaría en prácticamente un año de operación.

Como trabajos futuros queda analizar más a profundidad el recurso tecno-económico a implantar para reducir el tiempo improductivo, así como su efecto con el resto del proceso, los parámetros e indicadores que se deben establecer, además otro trabajo sería aplicar alguna técnica que ayude a determinar el tamaño óptimo de operarios a asignar en el proceso de empaque manual, así como el efecto que tendría con el paso anterior y posterior.

Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento a la empresa VECA PRODUCE, S.A. de C.V., por las facilidades de acceso a las instalaciones, y la entera disposición para el desarrollo de esta investigación, y especialmente 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 Isafías Julián Sarmiento, y a Rafael Cuellar Lázaro, autores de esta investigación.

5. Referencias

Aguerre, Miguel (2009). Teoría de restricciones. Recuperado el 25 de agosto de 2011, de <http://www.slideshare.net/cimaticdemexico/teoria-de-las-restricciones>

Cabarcá Reyes, J. C., Ardila Cabrera, F. A., & Mejía Ramos, M. T. (2010). Mejoramiento del flujo y aumento de la capacidad de prestación de servicios de un taller de reparación y mantenimiento automotriz, a través de estrategias basadas en los principios de la teoría de restricciones. *Prospect*, 45-54.

FND. (abril de 2014). Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Obtenido de <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Lim%C3%B3n.pdf#search=Limon%20persa>

Goldratt, E. y Cox, J. (1993). *La meta. Un proceso de mejora continua*. México: Ediciones North River Press. pp. 337.

Goldratt, E. (2002). *Cómo Extraer Información del Océano de Datos. El Síndrome del Pajar*. Ediciones Castillo. pp. 283.

Goldratt, E. (2009). *La carrera: en busca de las ventajas competitivas*. Buenos Aires: Granica. pp. 200

González Gómez, J. A., Ortegón Mosquera, K., & Rivera Cadavid, L. (2003). Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos TOC (Teoría de restricciones), para empresas colombianas. *Estudios gerenciales*, 27-49.

Iglesias, José. (2000). Un breve análisis de la teoría de las limitaciones. *Revista Especial Encuentros A.E.C.A. Ibiza*.

Krajewski L, Ritzman L, Malhotra M. (2008). *Administración de operaciones*. Pearson Ed. México. pp. 752.

Mabin V. & Balderstone S. (2003). The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(5/6), 568. Retrieved August 15, 2009, from ABI/INFORM Global. (Document ID: 358435061).

Ortiz Flores, F., Nuño de la Parra, P., Torres Osorio, R., & Báez Sentíes, O. (2008). Comparación del sistema de costo estándar y la teoría de restricciones para el control del flujo de materiales mediante un modelo de simulación. *Academia Journals*, 1-16.

SAGARPA (2015) recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/Paginas/2015B07009.aspx>

SIAP (2015) recuperado de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>

6. Notas Biográficas

El Ing. **Isaías Julián Sarmiento**, es profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Veracruz, México. Es egresado del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Puebla, México y actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Dr. **Gregorio Fernández Lambert**, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Ing. **Rafael Cuellar Lázaro**, es profesor de Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Veracruz, México. Es egresado del Instituto Tecnológico Tehuacán, Puebla, México y actualmente es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El Dr. **Isidro Rodríguez Montoro**, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

Héctor Giovany Vázquez Rodríguez, es estudiante de la Ingeniería en Gestión Empresarial del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre y actualmente está realizando su residencia profesional en la empresa VECA PRODUCE, S.A de C.V. además de colaborar con recolección de información y datos para la realización de la tesis de maestría del autor¹ del presente artículo.

Trashumancia Apícola en la Región de Misantla, Veracruz.

*Giovanni Luna Chontal, Ing.¹, Ing. Juan Gabriel Roque Peña², Dr. Gregorio Fernández Lambert³,
Ing. Isai Tiburcio Álvarez⁴, M.I.I. Margarito Landa Zárate⁵.*

¹ Giovanni Luna Chontal, Ingeniero, es Estudiante de postgrado en la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. glunac@itsm.edu.mx

² El Ingeniero. Juan Gabriel Roque Peña, es Estudiante de posgrado en la Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jgroquep@itsm.edu.mx

³ El Doctor. Gregorio Fernández Lambert, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. gfernandezl@itsm.edu.mx

⁴ El Ingeniero. Isai Tiburcio Álvarez, es Estudiante de posgrado en la Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. izai.ta@live.com

⁵ El M.I.I. Margarito Landa Zárate es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. mlandaz@itsm.edu.mx

Resumen— La trashumancia es una práctica de traslado de las colmenas a zonas determinadas que previamente se han identificado con flora de interés apícola. La ubicación estratégica del Estado de Veracruz en la República Mexicana permite la práctica trashumante apícola, sin embargo, la ausencia de información relacionada con zonas definidas que aproveche el potencial de floración en el Estado de Veracruz, hace que esta práctica sea considerada como una práctica rural. Esta investigación describe la actividad de la trashumancia en la región de Misantla, Ver. Los resultados demuestran que los apicultores utilizan micro mapas y/o el conocimiento geográfico de la región, así como de zonas fuera del Estado de Veracruz, para movilizar sus colmenas más bien como una herencia familiar sobre el conocimiento de zonas de floración de las cuales se ha hecho dentro de la región, que apoyado de información proporcionado por organismos o estudios previos.

Palabra(s) clave— Apicultura, Trashumancia, GPS, Apiarios.

Abstract – The transhumance is the migration practice of apiaries to certain areas previously identified of beekeeping interest. The strategic location of Veracruz State into Mexican Republic it allows beekeeping practice transhumance; however, lack information related with defined areas to take advantage to flowering potential into Veracruz State, the above is because it has been considered as a peasant practice. This research describes the transhumance activity from the region of Misantla, Veracruz. The results show that beekeepers use micro maps and/or the geographic knowledge into the region, as areas outside from Veracruz State, to mobilize their hives rather like a family heritage about the knowledge of flowering areas practiced into the region, instead of support information proportionate by agencies or previous research.

Keywords – Beekeeping, Transhumance, GPS, Apiaries.

1. Introducción

La apicultura se encuentra estrechamente ligada al ambiente y a los recursos naturales de la zona que el productor utiliza para emplazar sus apiarios; zonas que han sido modificadas en la última década por diferentes factores, entre ellos, el crecimiento continuo y puntual de las zonas agrícolas, que en contraste, ha ocasionado situaciones desfavorables para el desarrollo y explotación de la apicultura, con bajos rendimientos por colmena y tasas de mortandad anual elevadas debido al uso indiscriminado de pesticidas e insecticidas (Claridades Agropecuarias, 2010).

La trashumancia es una actividad milenaria que se ha utilizado como una alternativa de producción agrícola al movilizar el ganado en cada estación del año entre las pasturas del verano y el invierno, permitiendo la adaptación de los animales a la variabilidad del clima, trasladando el ganado a las pasturas que se encuentran disponibles en la región (Manzano y Casas, 2010). En el contexto de la apicultura, esta práctica consiste en movilizar las colmenas a lugares donde exista floraciones de néctar o polen para que las abejas cuenten con los insumos necesarios para la producción de miel, debido a que los cambios climáticos afectan directamente a la fenología de dichas plantas. Según (Salvachua Gallego, 1989), la movilización de colmenas incorpora el concepto de transporte, esto involucra que el apicultor invierta tiempo completo a la actividad, y de esta forma tener ubicadas las colmenas en las mejores condiciones para la producción.

La apicultura representa la tercera fuente generadora de divisas en el sector agropecuario en México (SAGARPA, 2015-1), sin embargo, ésta no se ha explotado de una mejor manera dado que la mayoría de los apicultores aún se encuentran trabajando con un sistema productivo artesanal; muy a pesar de que el territorio nacional posee una amplia diversidad de ecosistemas como lo es en los estados de Yucatán, Veracruz, Chiapas y Michoacán, en los que se produce miel en todo el año, siguiendo las estaciones de floración caracterizadas por las variaciones del clima y flora de cada región.

Puesto que en cada terminación de floración la colmena disminuye sus actividades de pecoreo, por ende, el consumo de miel aumenta dentro de la colmena puesto que no cuentan con la proveeduría necesaria para alimentarse; esto hace evidente que, localizar y ubicar zonas de flora apícola permitirá planear las rutas trashumantes para evitar, tanto el consumo de las reservas de miel como minimizar las distancias que la abeja recorre en busca de flores melíferas y poliníferas; sin olvidar las buenas prácticas apícolas a las que se debe el apicultor (Abou-Shaara, Al-Ghamd, y Mohamed, 2013). Según (Bellarby y otros, 2008), la deforestación y la tala clandestina incide directamente en la crisis del campo, aunado a esto las malas prácticas agropecuarias que a su vez contribuyen a degradar aún más los ecosistemas y la calidad de vida de los campesinos. Más de 80% de los suelos agrícolas de México presenta algún grado de erosión, atribuido a la actividad agrícola de monocultivos, y a la deforestación la cual se promueve para la ganadería extensiva y la producción de pasturas. Sin embargo, la producción misma de la miel en nuestro país se ha visto afectada por la deforestación, puesto que las alteraciones del entorno interrumpen la floración, propiciando la desaparición y migración de las colmenas llegando a la pérdida de algunas cosechas de los productos de la colmena (Scheffler, 2011).

Lo anterior revela la necesidad de ubicar zonas apícolas de la región de estudio y su riqueza vegetal, conocimiento que resulta imprescindible para las decisiones de las operaciones apícolas para incrementar la producción de la miel. Esta pauta ha motivado la construcción de un mapa apícola para la región intermunicipal de Misantla, en el cual se identifiquen zonas aptas para la explotación apícola. Como parte de esta investigación, en este artículo se reporta la actividad de trashumancia realizada en el periodo de estudio del año 2015-2016, en la región objeto de estudio. Para describir los resultados de esta investigación, las siguientes secciones se han organizado de la siguiente forma: En la sección 2, se describe el enfoque metodológico de la investigación, y se describe el contexto y actividades de la trashumancia apícola realizada en la región de estudio. La sección 3 presenta los resultados, mientras que en la sección 4 se establecen las conclusiones de esta actividad.

2. Desarrollo

Método.

Esta investigación se centra en la región intermunicipal de Misantla en el Estado de Veracruz-México, entre los municipios de Yecuatla, Colipa, Nautla, Tenochtitlan, Martínez de la Torre, Atzalan y Vega de Alatorre. El enfoque metodológico para el estudio de las actividades apícolas se definió utilizando la investigación transversal documental en base de datos, archivos, entrevistas a representantes y ex-representantes de asociaciones de este sector en la región de estudio; técnicos en el área, expertos en apicultura y a los mismos productores de la región de estudio. Si bien la SAGARPA dispone del registro de una cantidad de productores de miel, dicho registro no representa la realidad actual del número de productores dedicados en esta actividad agrícola; dada la inexistencia de un registro de productores de la región de estudio, la recolección de la información entre productores se realiza apoyado de la técnica de bola de nieve durante el periodo del año 2015 y 2016.

Contexto de la Trashumancia en la Región.

Veracruz es uno de los estados de la República Mexicana que cuenta con una riqueza natural y geográfica que permite que la apicultura se convierta en una actividad con grandes beneficios para el productor de miel y para el campo agrícola dada la polinización que las abejas generan durante el pecoreo.

La región municipal de Misantla se encuentra enclavada sobre la vertiente del Golfo de México, entre la cordillera de la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Chiconquiaco; la Topografía del sistema terrestre es muy variada, localizándose tres zonas: zona alta, zona media y zona baja; en la parte media se encuentran lomeríos y en la zona alta está integrada por serranía con pendientes mayores de 45 grados de inclinación. La región de estudio tiene frontera con los municipios de Yecuatla, Colipa, Nautla, Tenochtitla, Martínez de la Torre, Atzalan y Vega de Alatorre.

De acuerdo a los componentes naturales de la región, se identifican los siguientes climas: tropical cálido, cálidos sub-húmedos, templados húmedos y de régimen térmico cálido, con precipitaciones que varían de los

2,036.4 mm anuales en promedio. La temperatura media anual oscila entre los 22.7°C y con una humedad relativa de 35% a 40%. Los meses más fríos son diciembre y enero, el calor más intenso se da de abril a agosto. Las heladas por lo general se registran ocasionalmente en los meses de diciembre. Los fenómenos meteorológicos especiales como ciclones, tormentas eléctricas y nortes, que regularmente ocasionan fuertes lluvias, se registran en los meses de septiembre y octubre (INEGI, 2015).

Una zona apta para el asentamiento de apiarios es aquella que no se enmarca a una floración única, sino que a su alrededor exista proveeduría de néctar o polen en cada movimiento de floración capaces de superar las necesidades de las colmenas y reflejen, por tanto, excedentes en la producción de miel para los apicultores de la región (Castillo Hernández, 2016).

La trashumancia apícola es una actividad que trae grandes beneficios para hacer de la apicultura una práctica rentable y autosustentable, y a cambio, exige que los productores se dediquen completamente a dicha actividad, puesto que los apiarios requieren de supervisión.

Apicultores de la región de estudio informan que obtienen un promedio de 25 litros por colmena, según la temporada de floración; por otro lado, existen otros factores que influyen en la cosecha como lo son: la selección del asentamiento del apiario y transporte; los cuidados al trashumar las colmenas y los medios de recolección de los productos de la colmena en las alzas, (Landerero Castro, 2015).

La mayoría de los apicultores que practican la trashumancia son medianos productores que tienen más de 150 colmenas. Productores que llevan a cabo la trashumancia reportan que esta práctica está teniendo graves problemas dado a varios factores como lo son: la ausencia de información sobre la actividad de trashumancia, inexistencia de mapas de asentamientos así como de sus calendarios de floración, y la limitación burocrática por convenios entre asociaciones apícolas debido a la existencia de diferentes regulaciones en materia de distancias, factores ambientales y requisitos establecidos en la normativa estatal 085 (Gil Marín, 2016).

La trashumancia como contexto de producción, (Magaña y Leyva, 2011) señalan que el promedio de producción se limita al desempeño o eficiencia técnica del proceso, la cual se define por el uso inteligente de las tecnologías, la capacidad administrativa en la toma de decisiones, la disponibilidad y calidad de los recursos naturales e influencia de las condiciones ambientales.

La oportunidad de incrementar el rendimiento de producción de miel, se resume en que los apicultores de la región, disponen de escasa información sobre la flora y néctar de las diferentes regiones productoras de miel puesto que los calendarios de floración en los que se basan para el seguimiento de la fenología de las plantas en la región no se encuentran actualizados; no se tiene conocimiento de los recursos apibotánicos que permitan identificar la potencialidad floral de zonas específicas por lo que no se aprovecha racional y sustentablemente, además de que no se precisa la capacidad de apiarios que cada región intermunicipal tiene, ni se cuenta en la actualidad con el geo-posicionamiento de los apiarios, lo que algunas veces ha ocasionado que las distancias establecidas en la normativa no se “respeten” entre apicultores, generando una baja producción en los productos de la colmena (Brizuela, 2016).

A razón de la inexistencia de herramientas e información de la práctica apícola, la Figura 1 muestra el mapa de asentamientos de apiarios que la Asociación de Apicultores de Misantla utiliza como herramienta de apoyo para identificar las zonas en las cuales ya se encuentran establecidos apiarios; con la finalidad de no interferir con las zonas de pecoreo que ya tienen asignados otros apicultores, sean estos del distrito apicultor o estados vecinos como lo es el estado de Puebla cuando practican la trashumancia.

Este mapa si bien ha permitido orientar la ubicación de apiarios, éste se encuentra limitado por la localización precisa, y desactualizado desde hace diez años, considerando que los asentamientos señalados se encuentre aún emplazados en la zona determinada y los socios que se han ido agregando y no están contemplados dentro del mapa.

La Figura 2 muestra los micro mapas que los apicultores utilizan como requisito que la Asociación solicita para demostrar ante SAGARPA los emplazamientos de sus apiarios. Cabe señalar que estos micro mapas también se utilizan para llevar el control de sus apiarios y de las zonas de asentamientos, además que la localización de sus apiarios lo realizan únicamente sobre el micro mapa de manera visual aproximando la supuesta ubicación de las colmenas.



**Figura 1: Mapa de asentamientos apícolas en la región de Misantla, Ver.
Fuente: Asociación de Apicultores de Misantla, Ver.**



Figura 2: Micro mapas utilizados por apicultores de la región para identificación de zonas de asentamiento apícolas. Fuente: Heber Gil Marín, Experto en Apicultura.

Más allá de los programas de estímulo para el sector agrícola, en nuestro país, el diseño de mecanismos que impulsen sistemas productivos encaminados a la explotación de la actividad apícola es bajo, puesto que se considera por organismos a la apicultura como una actividad rural. Para la apicultura trashumante del estado de Veracruz, como de la región municipal de Misantla, se requiere de disciplina y destreza por parte del apicultor, así como de herramientas de apoyo para la toma de decisiones en los emplazamientos de sus colmenas; igualmente tener caracterizada la flora de interés apícola.

Basado en el conocimiento de que en lo general, para la producción de miel, la abeja utiliza solamente una parte reducida de la flora, pues no todas las especies botánicas producen néctar y polen, o bien son plantas no aptas morfológicamente para ser explotadas por las abejas; de forma que en el valor apícola de una especie intervienen una serie de factores como la cantidad del néctar producido, accesibilidad a la fuente de alimento composición del polen, permisibilidad de las zonas de asentamiento, y factores no controlables como la temperatura, humedad, tipo de suelo, viento, luz solar, entre otros. Todos estos factores establecen que las abejas tengan un cierto grado de preferencia por algunas especies florales (Irureta, 2005).

3. Resultados

Para el caso de identificar si la zona cuenta con una provisión apta de flora melífera y nectarífera, el apicultor aprovecha durante su traslado para supervisar sus apiarios, observar en el transcurso de la ruta nuevos posibles lugares de emplazamiento, por lo que acude directamente con el dueño de la parcela para asistir al lugar de interés y analizarlo de manera visual desde los límites del área de cultivo si la zona es apta o no, según su criterio y experiencia. Con esto, desahoga de manera parcial la elección de las zonas al no poseer información específica que le asista en esta tarea dentro de la región, por lo que la decisión de emplazamiento solo la toman acudiendo directamente al lugar del asentamiento.

El desconocimiento mismo de la densidad de flora entre las estaciones del año y el desconocimiento del tipo de floración, hace que la actividad de trashumancia suela ser una situación de fortuna, lo que hace de ella una actividad económicamente costosa al obtenerse bajos rendimientos de producción de miel por colmena, y por apiario. En consecuencia, el apicultor de la región de estudio, es común que movilice sus apiarios a zonas del altiplano ubicadas en lugares donde la proveeduría es incierta obteniendo resultados mínimos de producción.

Por otra parte, las movilizaciones son realizadas por el apicultor en unidades de transporte personales, y en algunos casos contratan el servicio de transporte, lo cual encarece aún más los costos de operación. La movilización de las colmenas es una actividad regulada por los organismos afines, sin embargo, este es otro de los problemas a los que se enfrenta este sector, ya que muchas veces el cumplimiento de las normativas son un factor que el productor decide no trashumar a lugares lejanos a sus zonas de confort.

La trashumancia apícola es compleja en su sistema por sí sola sin el apoyo de las tecnologías con las que contamos en el país; no solo para identificar zonas aptas de floración, sino también identificar agricultores que acepten las colmenas, campos con uso controlado de pesticidas, y sitios con la accesibilidad adecuada.

4. Conclusiones

La integración y uso de la información es esencial al momento de llevar a cabo el análisis de los factores que afectan a las abejas y a su sistema de producción, por ejemplo: la topografía del lugar, la cercanía a las fuentes hídricas, así como la accesibilidad y permisibilidad a zonas aptas de floración que permitan hacer de la trashumancia una práctica más eficiente. Por lo tanto, se considera evidente que el apicultor obtenga herramientas alternas para poder tecnificar su proceso de producción de miel, desde la misma actividad de trashumancia a través del uso de las tecnologías de la información que le permita manejar los recursos y tácticas logísticas para decidir donde emplazar los apiarios acorde a los lugares óptimos de floración, y lograr con ello el incremento de la producción de miel.

Las tecnologías de la información, son herramientas ampliamente utilizadas para integrar y analizar la interacción de distintas variables a lo largo del tiempo y que ha permitido una nueva forma de realizar agricultura, como lo es la agricultura de precisión, siendo este un concepto relativamente poco aplicado en el área agrícola de países en desarrollo.

Los resultados de este estudio, justifica una investigación que permita facilitar la actividad apícola otorgándole una alternativa que le ayude a tomar una decisión de emplazamiento de sus colmenas acorde a la temporada de floración para obtener un incremento de rendimiento de producción de la colmena donde la abeja pueda obtener el mayor índice de recursos en el menor recorrido de cosecha de éstos, de forma que el apicultor logre identificar zonas aptas de floración, distribución territorial de apiarios y la predicción de flujos de néctar, haciendo más eficiente el proceso de la trashumancia.

El producto de esta investigación persigue proporcionar a los apicultores de la región un mapa temático actualizado que describa zonas de producción apícola (basado en el trabajo de localización de zonas de floración con el uso de GIS), vías de comunicación, distancias de recorrido, y puntos óptimos para la ubicación de apiarios que ayudarán a incrementar el rendimiento de producción de la miel. De esta forma, un trabajo inmediato es

actualizar los asentamientos de las colmenas que apicultores de la región de estudio tienen actualmente; esto con el fin de usar el sistema de posicionamiento global GPS para identificar de manera exacta los apiarios.

Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento a la Asociación de Apicultores de Misantla por su colaboración entusiasta a esta investigación, y especialmente 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 *Giovanni Luna Chontal, Juan Gabriel Roque Peña, e Isaí Tiburcio Álvarez*; autores de esta investigación.

5. Referencias

- Magaña, M. M., & Leyva, C. M. (2011). Costos y rentabilidad del proceso de producción apícola en México. *Contaduría y Administración.*, 99-119.
- Claridades-Agropecuarias. (2010). Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. *Claridades Agropecuarias.*
- Manzano Baena, P., & Casas, R. (2010). Past, present and future of Trashumancia in Spain: nomadism in a developed country. *Pastoralism Vol. 1 No. 1*, 72-90.
- Salvachua Gallego, J. C. (1989). La trashumancia en apicultura. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*
- SAGARPA. (ENERO-FEBRERO de 2015-1). Programa Nacional para el Control de la Abeja Africana. *NOTIABEJA*. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/documents/2015/apicultura/notiabj%202015-1.pdf>
- Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., & Smith, P. (2008). Cool Farming: Climate impacts of agriculture and. *Campaigning for Sustainable Agriculture (GREENPEACE)*, No. 5.
- Castillo Hernández, C. (19 de Junio de 2016). Presidente de la Asociación de Apicultores en Misantla y Experto en Apicultura. *Contexto Apícola en Misantla*. (J. Roque Peña, & G. Luna Chontal, Entrevistadores)
- Landero Castro, P. (Noviembre de 2015). Experto en Apicultura. *Contexto Apícola en la Región de Misantla*. (J. G. Roque Peña, & G. Luna Chontal, Entrevistadores) Misantla, Veracruz, México.
- Scheffler, E. (27 de Mayo de 2011). La miel: el oro líquido de México. *México Desconocido*.
- Abou-Shaara, H., Al-Ghamd, A., & Mohamed, A. (2013). A Suitability Map for Keeping Honey Bees Under Harsh Environmental Conditions Using Geographical Information System. *World Applied Sciences Journal*, 1099-1105.
- INEGI. (2015). *Recursos Naturales, y Climatología*. Recuperado el 22 de 04 de 2015, de INEGI: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jE5Ljk1OTU0LGxvbjotOTYuODcxNzIsejo3LGw6YzQwMXxjNDA0fGM0MDd8YzQxMHxjNDE3fGM0MTg=>
- Brizuela, F. (18 de Marzo de 2016). Dr. Manejo de Recursos Naturales, Experto en Apicultura. *La apicultura en Veracruz*. (G. Luna-Chontal, & J.-G. Roque-Peña, Entrevistadores)
- Gil-Marín, H. (12 de Mayo de 2016). Experto en Apicultura. *Factores de impacto para la trashumancia apícola*. (G. Luna-Chontal, & J. G. Roque-Peña, Entrevistadores).
- Irureta, M. (2005). Estudio polínico y de compuestos fenólicos en mieles Argentinas. *15° congreso internacional de actualización apícola*. Tuxtla Gutierrez. Obtenido de: <http://www.anmvea.com/imagenes/congresos/MemoriasCongresos/MCIAA15.pdf>

6. Notas Biográficas

El **Ing. Giovanni Luna Chontal**, es alumno de posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México. Actualmente se desempeña como profesor parcial de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Ing. Juan Gabriel Roque Peña**, es alumno de posgrado de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, en Misantla, Veracruz, México.

El **Dr. Gregorio Fernández Lambert**, es Dr. en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la UPAEP, Puebla, Puebla, México, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Ingeniero Isaí Tiburcio Álvarez**, es Estudiante de posgrado en la Maestría del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz.

El **MI. Margarito Landa Zárate**, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Actualmente se desempeña como profesor de Ingeniería Industrial y es Coordinador de posgrado de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

Manejo del maní forrajero (*Arachis Pintoi*) como una alternativa en el control de la maleza en una plantación de cítricos-café en el Municipio de Misantla, Veracruz.

Margarito Landa Zarate. M.I.I.¹, M.I.I. Tito Armando Hernández y González², Ing. Giovanni Luna Chontal³, Dr. Isidro Rodríguez Montoro⁴, Ing. Juan Gabriel Roque Peña⁵.

¹ Margarito Landa Zarate, Maestro en Ingeniería Industrial, es Profesor de la Maestría de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. Mail: mlandaz@itsm.edu.mx

² El Maestro. Tito Armando Hernández y González, es jefe de carrera de la Licenciatura de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. tahernandezyg@itsm.edu.mx

³ El Ingeniero. Giovanni Luna Chontal es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. glunac@itsm.edu.mx

⁴ El Dr. Isidro Rodríguez Montoro, es profesor Investigador del área de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. irodriguez@itsm.edu.mx

⁵ El Ingeniero. Juan Gabriel Roque Peña es alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla, Veracruz. jgroquep@itsm.edu.mx

Resumen—En la agricultura, dentro de las actividades que generan un alto costo se encuentran las prácticas de control en las malezas, principalmente en aquellos cultivos que se localizan en regiones donde llueve todo el año, como es el caso de la región de Misantla, Veracruz, México. En este artículo se publican los resultados de una evaluación técnico económica realizada al maní forrajero (*arachis pintoi*) como un agente en el control de malezas en cultivos agrícolas de esta región. Para la obtención de las métricas de evaluación, se implementó un campo experimental en una plantación de cítricos-café en el cual se llevó a cabo la medición de los costos del control de la maleza con y sin el empleo del maní forrajero durante un año de observación.

Palabra(s) clave— *Arachis Pintoi*, Maleza, Métricas, Evaluación.

Abstract – In agriculture, into the activities that generate a high cost are control practices in the undergrowth, mainly those crops that are located in regions where rains all year, such as the case of Misantla’s region in Veracruz, Mexico. This article shows the results of a technical and economic assessment to perennial peanut (*arachis pintoi*) as an agent in controlling undergrowth in agricultural crops in this region. To obtain evaluation metrics, an experimental citrus-coffee field was implemented which carried out the measurement of the costs of undergrowth control, with and without use of perennial peanut in the course of the year.

Keywords – *Arachis Pintoi*, Undergrowht, Measurement, Evaluation.

1. Introducción

El crecimiento demográfico impone demandas cada día mayor a los productores de alimentos, los cuales se ven obligados a incrementar su producción, ya sea por la incorporación de nuevas áreas al sistema o por mejoramiento de la productividad de las ya explotadas, mediante la adopción de tecnologías como lo son las leguminosas forrajeras que son componentes importantes, no solo por su alto contenido de proteína, sino también por su efecto en el rendimiento y en la calidad del forraje ofrecido a los huertos de cítricos controlando la maleza que perjudica estos cultivos. Estos efectos se relacionan con el mejoramiento de la fertilidad del suelo, mediante la fijación simbólica de nitrógeno por la leguminosa asociada con el rizobio correspondiente. Este nitrógeno es aprovechado, en gran parte, por la gramínea asociada para mejorar su productividad. (CIAT, 1987)

Existe una gran variedad de vegetación que son consideradas como malezas y pueden ser utilizadas como una alternativa de alimentación o para usos medicinales; además, la mayor parte de la maleza que se desarrolla en áreas sometidas al arado sirven para prevenir la erosión del suelo y para reciclar los nutrientes minerales del suelo. No obstante, algunas plantas que aparecen dentro de las áreas de cultivo son consideradas como indeseables, clasificándolas como maleza que daña la plantación (Parker & Labrada, 2010).

Para las actividades agrícolas de cualquier índole se le considera a la maleza como producto de la alteración de la vegetación natural, estas tomadas como plantas que dañan los cultivos, además de ser el factor

económico más importante del total del complejo de plagas, puesto que también conlleva a la propagación de insectos, ácaros, vertebrados, nematodos y patógenos de plantas; aunado a lo anterior, las pérdidas anuales causadas por las malezas en la agricultura de los países en desarrollo ha sido estimada ser del orden de 125 millones de toneladas de alimentos, cantidad suficiente para alimentar 250 millones de personas (Fryer., 1995).

Este tipo de plantas indeseables compiten con las plantas de los cultivos por adquirir el mayor número de nutrientes del suelo, agua y luz. La maleza sirve de huésped a insectos y patógenos propagándolos impactando negativamente y a gran manera a las plantas y las áreas de cultivos; ésta también impide el proceso de cosecha elevando los costos operacionales. Además, al momento de la cosecha las semillas de las malezas contaminan la producción obtenida (Parker & Labrada, 2010).

Dado lo anterior, la presencia de las malezas en áreas cultivables reduce la eficiencia de la fertilización y la irrigación, facilita el aumento de la densidad de otras plagas y al final los rendimientos agrícolas y su calidad decrecen severamente.

2. Desarrollo

Método

La investigación se apoyó en una metodología de la investigación básica, cuyo objetivo central es el de conocer y explicar los fenómenos de la realidad natural y social; se sustenta en un análisis documental basado en consultas bibliográficas y aportaciones científicas, síntesis y praxis, lógicamente relacionados [32].

Mani Forrajero

El género *Arachis* es originario de América del Sur y está restringido naturalmente a Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay (Rincón C., Cuesta M., Pérez B., Lascano, & Ferguson, 1992). La especie *A. pintoi* se le atribuye a Krapovickas y Gregory, aunque ésta no ha sido descrita en forma válida, por lo que se acepta actualmente sólo como un nombre (nomen nudum) (Ressler, P. M., 1980). Dado que la taxonomía de *Arachis* está en constante revisión, no es extraño que la clasificación de la especie cambie en el futuro. Durante las últimas décadas los centros nacionales e internacionales de investigación forrajera en Centro y Sur América, han realizado esfuerzos conjuntos para la identificación de leguminosas tropicales productivas y persistentes, no solo para mejorar la calidad nutritiva de la dieta del ganado, sino con otras alternativas de uso tales como abonos verdes, cobertura en plantaciones permanentes y utilización en programas de conservación y control de erosión del suelo. Esta leguminosa ha mostrado buena adaptación a gran variedad de suelos y climas, es compatible con gramíneas estoloníferas y agresivas del género *Brachiaria* y *Cynodon*, produce buena cantidad de forraje de alta calidad. Se le utiliza en pasturas asociadas de gramínea/leguminosa, en cobertura de plantaciones permanentes, en programas de conservación de suelos y como planta ornamental.

El Maní Forrajero es una leguminosa herbácea, perenne, de crecimiento rastrero y estolonífero. Tiene una altura entre 20 y 40 cm, posee raíz pivotante que crece hasta 30 cm de profundidad. Las hojas son alternas, compuestas, con cuatro folíolos ovoides, de color verde claro a oscuro. El ápice de los folíolos es mucronado, con estípulas envainadoras, ad heridas al pecíolo y bifurcadas en forma de hoz, pubescentes, que cubren las yemas en los nudos (Rincón C., Cuesta M., Pérez B., Lascano, & Ferguson, 1992).

El cultivar Maní forrajero perenne (*arachis pintoi*) es el producto del esfuerzo interinstitucional entre el ICA y el CIAT, después de evaluarlo durante varios años como alternativa forrajera para la altillanura, zona cafetalera y el piedemonte de los llanos orientales y de la amazonia colombiana. En estas zonas el cultivar presenta buena adaptación a las condiciones de clima y suelo, produce una alta cantidad de forraje de buen valor nutritivo, es compatible y persiste cuando se mezcla con gramíneas de crecimiento agresivo como *brechiari* y *cynodon*. Además, por su hábito de crecimiento prostrado y tolerancia a la sombra, se considera como alternativa para la cobertura del suelo y control de la erosión en cultivos perennes como palma africana café, cítricos y cacao. Una leguminosa perenne de gran calidad, adaptada al pastoreo intensivo, que se consocia bien con gramíneas tropicales y que está mostrando una adaptación ambiental más amplia que la prevista. Es una especie autóctona bastante estudiada y sobre la cual se realizaron mejoramientos importantes (Rincón C., Cuesta M., Pérez B., Lascano, & Ferguson, 1992).

Objeto de estudio

El municipio de Misantla cuenta con una población total de 62,919 habitantes de los cuales 30,771 son hombres y 32,148 son mujeres. De las comunidades las que mayor número de población concentrada son las que tienen entre 800 y 2100 habitantes (Censo de vivienda y población, 2010).

Entre las principales actividades productivas que se desarrollan en el marco agrícola, se encuentran en primer término, el proceso productivo e industrialización de café y el cultivo de cítricos; en pequeña escala el

cultivo de maíz, frijol, pipián, y litchies. Es importante señalar que en la parte alta del municipio se cultiva en el ciclo otoño-invierno debido a la condición climatológica que prevalece en esa zona. Por otra parte la actividad ganadera representa una importante fuente de desarrollo económico para el municipio; se estima alrededor de 32,492 cabezas de ganado bovino de doble propósito además de la cría de ganado porcino, ovino y equino (INEGI, 2010).

Un aspecto positivo es que se ha difundido la cultura del control de malezas con machete, dejando cobertura vegetal para evitar la erosión. Se registraron experiencias negativas con el uso de herbicidas tanto de intoxicaciones en el personal que aplica el producto, como de degradación de los suelos con el uso frecuente, lo que ha generado una postura de uso reservado del pesticida. Prácticamente no se registraron experiencias de uso de pesticidas para controlar plagas o enfermedades del café (López Morgado, Sosa Fernández, Díaz Padilla, & Contreras Hernández, 2013).

Veracruz, respecto al cultivo de naranja representa el 46% de la superficie sembrada a nivel nacional y el 51% de su producción. La producción de naranja en Veracruz se realiza en una superficie de 155 mil ha. y genera una producción de 2.15 millones de ton (Licona Cruz, 2009).

Uno de los factores principales de la utilización de la labranza es su alto costo de mano de obra, un estudio de campo realizado por el autor, basado en la entrevista estructurada a una muestra de 30 agricultores se obtuvo lo siguiente.

Para la limpieza de una hectárea se emplean en promedio 10 jornales y requiriéndose al año un promedio de 4 chapeos. Considerando \$150.00 por jornal, se obtiene un costo por actividades de limpieza anual de \$6,000 por hectárea. Para el uso de herbicidas se requiere de 2 jornales por hectárea y se emplean 1.5 litros de herbicida en un costo promedio de \$180.00 requiriéndose 3 aplicaciones de fungicidas y herbicidas al año con un costo total de \$1,440 por hectárea al año; sumado a esto, la inconveniencia que al paso de los años los herbicidas provocan el empobrecimiento de los nutrientes de la tierra afectando el rendimiento del cultivo y disminuyendo hasta en un 50% la vida útil del cultivo (Artiaga, 1962). De igual forma, la producción de naranja en la región estima un rendimiento de 10.74 ton/ha a un precio de venta en el medio rural de \$1000 por tonelada (SEDESOL, 2015).

Esto justifica la investigación en la que se contempla usar al maní forrajero como alternativa de control de maleza.

Aplicación

Se mostrará la manera en la que se ejecutó el proyecto, explicando detalladamente las etapas de la aplicación de todos los estudios preliminares que implican la plantación del maní forrajero como controlador de malezas en un plantación de cítricos en el municipio de Misantla Veracruz.

El proyecto consistió en tres fases las cuales se describen a continuación:

Fase 1 Limpieza del terreno. Para llevar a cabo esta actividad se realizó la fumigación con herbicidas para la eliminación de malezas en el espacio destinado para llevar a cabo el cultivo de maní forrajero. Para ello se aplicó el herbicida glifosato a una proporción de 150 mm por cada 20 litros de agua combinado con accurate (se diluye un sobre en 1 litro de agua y se mezclan 150 mm en 20 litros de agua) con esta combinación de herbicidas de eliminan zacates, malezas de hoja ancha y malaste mismo que predominan en este predio, como se muestra en la Figura 1. Para la fumigación de la parcela demostrativa se emplearon un litro de glifosato, un sobre de accurate y un jornal de trabajo.

Fase 2 Siembra de maní forrajero, Para la siembra del maní se recolectaron plántulas (guías) las cuales fueron extraídas de un vivero de reproducción. Se utilizaron dos técnicas de sembrado la primer siembra se realizó en surcos a una distancia de 2 m entre surcos, se apertura un zanja se colocaron las guías y se cubrieron con tierra como se muestra en la Figura 2, presentando un rebrote de 70%.

En la segunda técnica de sembrado se formaron pequeños rollos con las guías del maní y se sembraron en un pequeño agujero a una distancia aproximada de 1m entre siembras, como se muestra en la Figura 3; de estas dos técnicas la segunda mostró una mayor efectividad de reproducción siendo esta de un 80%. Para la siembra se emplearon 4 jornales, fue realizada en la segunda semana del mes de febrero aprovechando la temporada de lluvias; una segunda siembra fue realizada a finales del mes de marzo, pero debido a que se presentaron periodos sin lluvia prolongados en el mes de abril y mayo, la siembra presento una efectividad de 10%.



Figura 1. Limpieza del terreno
Fuente: elaboración propia



Figura 2. Siembra en surco (técnica 1)
Fuente:Elaboración propia



Figura 3. Siembra en rollo (técnica 2)
Fuente: Elaboración propia

Fase 3 Limpieza del maní durante el periodo de su crecimiento. Cada 3 meses se realizaron actividades de limpieza utilizando materiales de labranza (azadón) para eliminar malezas. La primera labranza se emplearon 25 jornales , en la segunda labranza (seis meses después de la siembra) se emplearon 18 jornales , para la tercer labranza (nueve meses después) se requirieron de 15 jornales, la cuarta labranza (un año después de la siembra) se emplearon 12 jornales .cabe hacer mención que al año de haberse sembrado el maní forrajero, éste se encuentra al 100% cubierto el terreno en donde se sembró , únicamente sobreviven algunos tipos de maleza como son sierrilla o dormilona, papata ratón y arbustos como es el caso del palo colorado, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Limpieza del maní durante el periodo de crecimiento
Fuente: Elaboración propia

3. Resultados

Después de un año de haber iniciado con el proyecto, el costo de operación de la parcela demostrativa de 1 hectárea sembrada con maní forrajero, fue de un monto de \$11240.00 tal y como se muestra en la Tabla 1.

Concepto	Unidad de medida	Costo Unitario	Cantidad	Monto total
Limpieza del terreno	Herbicida	70	2	140
Siembra del maní	Jornal	150	4	600
Limpieza de la plantación mes 3	Jornal	150	25	3750
Limpieza de la plantación mes 6	Jornal	150	18	2700
Limpieza de la plantación mes 9	Jornal	150	15	2250
Limpieza de la plantación mes 12	Jornal	150	12	1800
Total				11240

Tabla 1. Costos de operación de una parcela demostrativa con siembra de maní forrajero durante el primer año.

Por otra parte, se muestreó la limpieza de una fracción de terreno en donde no se le realizó la plantación de maní forrajero, requiriéndose de 25 jornales cada tres meses para realizar su limpieza, generando un costo anual de \$ 15,000.00; considerando los costos de operación de la plantación con maní forrajero y comparándolos con los costos de operación de donde no se sembró el maní, se obtuvieron un ahorro de \$3760.00, que corresponden al 25.1%.

Considerando que los costos de operación para la limpieza del maní forrajero se mantuvieran constantes para los años siguientes de \$1800.00 cada tres meses (7200.00 anuales) y de 15,000.00 anuales para el caso en donde no se sembró el maní forrajero, los ahorros en la limpieza del terreno se incrementan a 7800.00 anuales que equivalen al 52%, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Con plantación del maní	11240	7200	7200	7200	7200
Sin plantación del maní	15000	15000	15000	15000	15000
Ahorros anuales \$	3760	7800	7800	7800	7800
Ahorros anuales %	25.1%	52.0%	52.0%	52.0%	52.0%

Tabla 2. Comparativo de los costos de operación de una parcela con plantación de maní forrajero vs sin plantación de maní forrajero.

Considerando una tasa de actualización del 10% anual, un horizonte de planeación de 5 años, se obtiene un valor presente de los costos de 10218.00 y un valor presente de los beneficios o ahorros de 25895.00, obteniéndose una relación Beneficio/Costo de 2.53

4. Conclusiones

A partir de la elaboración de este estudio quedo demostrada la factibilidad técnico económica de la utilización del maní forrajero como un agente para el control de maleza en cultivo de cítricos y café ,ya que con la plantación de esta gramínea se redujo de 100 a 48 jornales/hectarea por año, disminuyéndose los costos de mano de obra para la limpieza de la maleza en un 52%, sin considerar que el maní forrajero también puede ser utilizado como forraje para el alimento de ganado y aves de corral, así como fijador de nitrógeno al suelo, mismos que serán objeto de trabajos futuros.

5. Referencias

- (2010). Censo de vivienda y poblacion.
- Artiaga, D. P. (1962). Relacion de Misantla. En D. P. Artiaga, Cuadernos de la facultad de filosofia de letras num 8 (págs. 131,152,161). Jalapa, Veracruz, México: Edicion y notas David Ramirez Lavoignet.
- CIAT. (1987). Programa de pastos tropicales. En Informe anual 1986 (pág. 347). Cali, Colombia.
- Espejel, A. P. (2010). Metodologia critica de la investigacion. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Fryer., P. C. (1995). Weed control problems causing major reduction in world food supplies. FAO Plant Protection Bulletin , 83-95.
- INEGI. (2010). Censo de vivienda y poblacion.
- Licon Cruz, C. J. (2009). Estudio de mercado para la identificación de necesidades de infraestructura logística para la comercialización de jugos cítricos en Veracruz. Martínez de la Torre: Comité Sistema Producto Cítricos del Estado de Veracruz, A.C. - FIRCO.
- López Morgado, R., Sosa Fernández, V. d., Díaz Padilla , G., & Contreras Hernández, H. A. (2013). Cafeticultura en la zona centro del estado de Veracruz. Medellín de Bravo: INIFAP.
- Parker, R., & Labrada, y. (2010). El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas. Obtenido de Depósito de Documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s05.htm>
- Ressler, P. M. (1980). L. Euphytica 29. A review of the nomenclature of the genus Arachis, 813-817.
- Rincón C., A., Cuesta M., P. A., Pérez B., R., Lascano, C. E., & Ferguson, J. (1992). Maní Forrajero Perenne. Instituto Colombiano Agropecuario.
- SEDESOL. (22 de Septiembre de 2015). Microregiones. Obtenido de Microregiones: <http://www.microregiones.gob.mx>
- Valls,J.F.M. y Simpson , C.E. (1995). Taxonomia,distribucion natural y atributos de arachis. En C. V. Simpson, *biologia y agronomia de especies forrajeras arachis* (págs. 1-20). cali , colombia: P.C. Kerridge.

6. Notas Biográficas

El **MII. 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 **MII. Tito Armando Hernández y González** es docente y jefe de carrera de la Licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Tiene estudios de postgrado en Ingeniería Industrial por Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, Veracruz, México.

El **Ing. Giovanni Luna Chontal** es Ingeniero Industrial; es alumno de postgrado de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Actualmente se desempeña como docente parcial en la Licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Misantla, Veracruz, México.

El **Dr. Isidro Rodríguez Montoro** es Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio Iberoamericano de Estudios Superiores, actualmente se desempeña como profesor investigador por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

El **Ing. Juan Gabriel Roque Peña** es Ingeniero Industrial; es alumno de postgrado de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Misantla, Veracruz, México.