

# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

## CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

AÑO 2023 | No. 1

Año 2023 | No. I      Congreso Interdisciplinario de Ingenierías      ISSN: 2395-9649

### Información Legal

**Congreso Interdisciplinario de Ingenierías**, Año VI, Número I, noviembre 2021, 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: [trabajostecnicoscii2023@itsm.edu.mx](mailto:trabajostecnicoscii2023@itsm.edu.mx); página web: <https://misantla.tecnm.mx/>, página web: [https://pmii.itsm.edu.mx/productividad/CII/memoriacii\\_2023.pdf](https://pmii.itsm.edu.mx/productividad/CII/memoriacii_2023.pdf) Editor responsable: Dr. David Reyes González. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-102716093000-203 otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Dr. David Reyes González, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 30 de noviembre de 2023.

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 2023.

# CONGRESO INTERDISCIPLINARIO DE INGENIERÍAS

Año 2023 | No. I



Año 2023 | No. I      Congreso Interdisciplinario de Ingenierías      ISSN: 2395-9649

**Subsecretaría de Educación Superior**

**Dirección General de Educación Superior  
Tecnológica**

**Instituto Tecnológico Superior de Misantla**

**Congreso Interdisciplinario de Ingenierías**

**CII 2023**

## Directorio

### Director General ITSM, México

Mtro. Jorge Alberto Lara Gómez

### Director Académico ITSM, México

Mtro. Arturo Olgún Hernández

### Director de Planeación y Vinculación

Lic. Julio César Rosas Cruz

### Directora de Servicios Administrativos ITSM, México

Lic. Laura Eugenia Hernández Pérez

### Subdirectora de Posgrado ITSM, México

Dra. María Cristina López Méndez

## Cuerpo Editorial

### Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Mianzta

### Editor

Dr. David Reyes González

## Comité Revisor

Dr. Alan Antonio Rico Barragán

Dr. David Lara Alabazares

Dr. David Reyes González

Dr. Eddy Sánchez de la Cruz

Dr. Gregorio Fernández Lambert

Dr. Gustavo Martínez Castellanos

Dr. Humberto Raymundo González Moreno

Dr. Isidro Rodríguez Montoro

Dr. Irahám Otoniel José Guzmán

Dr. Luis Enrique García Santamaría

Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo

Dr. Luis Mejía Macario

Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta

Dr. Rodrigo Vivar Ocampo

Dr. Saúl Santiago Cruz

Dr. Simón Pedro Arguijo Hernández

Dra. Ana Lilia Sosa y Durán

Dra. Elsa Saldaña Piteros

Dra. María Cristina López Méndez

Dra. Yodaira Borroto Pentón

MC. Guadalupe Rodríguez Martínez

MC. Joel Maurilio Morales García

MC. José de Jesús Ruiz Zamora

MC. Saúl Reyes Barajas

MC. Sandra Guadalupe García Aburto

MC. Vladimir Zagoya Juárez

ME. Leticia Díaz Domínguez

MF. Guadalupe Montes de Oca

MII. Ana Roselyn Pérez Méndez

MII. Carlos Angel Vicente Rodríguez  
MII. Eduardo Fernández Echeverría  
MII. Gabriel Grosskelwing Núñez  
MII. Giovanni Luna Chontal  
MII. Graciela Elizabeth Nani González  
MII. Marieli lavoignet Ruiz  
MII. Margarito Landa Zárate  
MII. Mario Pérez Acosta  
MNI. Luis Manuel Siliceo Verónica  
MSC. Arnulfo Gamaliel Hernández González  
MSC. Fernando Alberto Hernández Guevara  
MSC. Galdino Martínez Flores  
MSC. Guadalupe Guendulay Escalante  
MSC. José Antonio Hiram Vázquez López  
MSC. Jorge Cruz Salazar  
MVT. Oscar Moreno Vázquez  
MVT. Pablo Julián López González  
Ing. Daniela Lizbeth Hernández Sánchez  
Ing. David Arroyo Acosta  
Ing. Rosario Castro García  
Lic. José Juan Reyes Torres

### **Corrección de Estilo**

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas ITSM, México  
Ing. Mayra Lizeth Méndez Oloarte ITSM, México

### **Diseño Editorial**

Lic. Erik Balderas González ITSM, México

### **Distribución**

Publicación electrónica disponible en:

[https://pmii.itsm.edu.mx/productividad/CII/memoriacii\\_2023.pdf](https://pmii.itsm.edu.mx/productividad/CII/memoriacii_2023.pdf)

Correo electrónico: [trabajostecnicoscii2023@itsm.edu.mx](mailto:trabajostecnicoscii2023@itsm.edu.mx)

## Introducción

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

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

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

## Contenido

<b>Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de lactuca sativa en la ciudad de Misantla Veracruz</b>	...	001 - 006
<b>Sistema de punto de venta con sistema de inventario para el minisúper “Yeye”</b>	...	007 - 016
<b>Propuesta técnica para el saneamiento de la cuenca alta a media del río Misantla, Ver.</b>	...	017 - 022
<b>Ergonomía en la industria 4.0: Un enfoque de la Inteligencia artificial para la eficiencia y la seguridad ocupacional.</b>	...	023 - 029
<b>Evaluación de la eficiencia en la atención al cliente de un sistema de reparación de dispositivos móviles a través de técnicas de simulación</b>	...	030 - 040
<b>Evaluación de plata coloidal obtenida mediante electrogravimetría como agente microbicida</b>	...	041 - 047
<b>Caracterización de aguas contaminadas con BTEX y MTBE en México.</b>	...	048 - 058
<b>Un análisis teórico de la agricultura regenerativa en contraste con la agricultura convencional</b>	...	059 - 069
<b>Influencia de la incorporación de desechos de construcción y demolición en concretos modificados expuestos en agua de mar</b>	...	070 - 075
<b>Propuesta de aplicación móvil lúdica para resolución de grafos de matemáticas discretas llamada DiscreteGraphMaster</b>	...	076 - 080

<b>Estado actual del uso de técnicas de inteligencia artificial en el proceso de producción artesanal del café</b>	...	081 - 091
<b>Caracterización de la cadena logística inversa para los residuos plásticos y la aplicación para su gestión en México.</b>	...	092 - 099
<b>Sistema automatizado para el llenado de depósitos</b>	...	100 - 103
<b>Elaboración de cucharas comestibles como propuesta para disminuir el plástico de un solo uso</b>	...	104 - 111
<b>Metodología para elaborar una pomada en gel con carbopol, <i>aloe vera</i> y aceites esenciales</b>	...	112 - 119
<b>Estudios previos para el establecimiento de un humedal de tratamiento de aguas residuales a gran escala</b>	...	120 - 136
<b>Sistemas de riego; aplicaciones y beneficios en la región de Teziutlán</b>	...	137 - 150
<b>Implementación de las 5s para la optimización en la gestión del almacén en un centro de acopio de miel</b>	...	151 - 160
<b>Construcción y evaluación higrotérmica de prototipos de techo verde para la zona de Progreso Yucatán</b>	...	161 - 170
<b>Diseño de software de control para bomba de infusión de medicamentos para pacientes hospitalarios</b>	...	171 - 179
<b>Diseño de un horno de temperatura variable para tratamientos térmicos</b>	...	180 - 187
<b>Aplicación móvil para la recopilación de acontecimientos relevantes en la región de Misantla mediante técnicas de Inteligencia Artificial</b>	...	188 - 197



## Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de lactuca sativa en la ciudad de Misantla Veracruz

Arnulfo Gamaliel Hernández González  
aghernandezg@itsm.edu.mx

Daniela Lizbeth Hernández Sánchez  
daniela\_lizbeth@itsm.edu.mx

Josué Yahir Alonso Morales  
202t0476@itsm.edu.mx

Juan Pablo Aquino Barrios  
202t0477@itsm.edu.mx

Rawy De Los Santos Fernández  
202t0480@itsm.edu.mx

Contacto:  
aghernandezg@itsm.edu.mx  
+52 235 101 4860

### Aeroponía e IOT

Arnulfo Gamaliel Hernández González, Maestría, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Daniela Lizbeth Hernández Sánchez, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Josué Yahir Alonso Morales, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Juan Pablo Aquino Barrios, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Rawy De Los Santos Fernández, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

**RESUMEN:** *En el presente artículo, se abordará el análisis y diseño de una estructura destinada a la implementación de un sistema de Nutrient Film Technique (NTF) específicamente diseñado para la producción de cultivos aeropónicos. El análisis detallado de la estructura incluye la optimización de la disposición de los contenedores y la calibración del flujo de nutrientes y agua para garantizar condiciones ideales de crecimiento. Se ha tenido en cuenta la eficiencia del uso de recursos, la sostenibilidad y la facilidad de*

*operación. La elección de materiales como el plástico y el PVC se ha realizado considerando su durabilidad, facilidad de limpieza y resistencia a la corrosión, lo que garantiza una larga vida útil del sistema y un mantenimiento eficiente. Además, estos materiales son accesibles y económicos, lo que hace que el diseño sea viable para una amplia gama de aplicaciones en la agricultura. El enfoque principal de esta investigación se centra en el cultivo de las hortalizas y se tomó como cultivo de prueba*

*la Lactuca sativa, comúnmente conocida como lechuga.*

**PALABRAS CLAVE:** *Agricultura, Hortalizas, Aeroponía, Sistema NFT, Estructura*

**ABSTRACT:** *In this article, we will address the analysis and design of a structure intended for the implementation of a Nutrient Film Technique (NTF) system specifically tailored to produce aeroponic crops. The detailed analysis of the structure encompasses the optimization of container arrangement and the calibration of nutrient and water flow to ensure optimal growth conditions. Efficiency in resource utilization, sustainability, and ease of operation have been taken into consideration. The choice of materials, such as plastic and PVC, has been made with a focus on their durability, ease of cleaning, and resistance to corrosion, ensuring a long lifespan of the system and efficient maintenance. Furthermore, these materials are readily available and cost-effective, making the design viable for a wide range of agricultural applications. The primary focus of this research centers on the cultivation of vegetables, with Lactuca sativa, commonly known as lettuce, selected as the test crop.*

**KEYWORDS:** *Agriculture, Vegetables, Aeroponics, NFT System, Structure.*

## INTRODUCCIÓN

En un mundo donde la demanda de alimentos y la escasez de recursos naturales plantean desafíos cada vez más apremiantes, la tecnología ha emergido como una poderosa aliada en la búsqueda de soluciones

sostenibles. Una de las innovaciones más emocionantes en el ámbito de la agricultura es la aeroponía, un método de cultivo aéreo que está revolucionando la forma en que cultivamos plantas. A través de la suspensión de las raíces en el aire y la aplicación de una solución nutritiva, la aeroponía ha demostrado ser altamente eficiente y versátil en cuanto a la no erosión de suelos y el bajo consumo de agua. En la ciudad de Misantla Veracruz se conoce poco sobre la producción de alimentos en este tipo de cultivos. Sin embargo, lo que realmente impulsa la eficacia de esta técnica es su estrecha relación con la tecnología, esta se integra de varias formas en este proceso para mejorar la eficiencia, el control y la productividad.

En este artículo de divulgación científica, investigaremos cómo la tecnología ha revolucionado la aeroponía mediante el desarrollo de un prototipo vertical, resaltando las etapas de su creación, beneficios y costos, teniendo en cuenta factores de diseño, tamaño y materiales empleados mientras utilizamos un sistema NFT (Nutrient Film Technique) donde las raíces de las plantas se colocan en una película de solución nutritiva constante y delgada que fluye a través de una inclinación suave usando como cultivo de prueba la Lactuca sativa. Este enfoque tiene como objetivo fomentar la producción de hortalizas que se adecuen a esta innovadora forma de agricultura.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo siguiendo una metodología diseñada para asegurar una planificación sólida y eficiente. En este proceso, se realizó una investigación exhaustiva para identificar modelos existentes y determinar los materiales utilizados.

### **Materiales**

En la tabla No. 1 se da a conocer la lista de los materiales utilizados para la construcción del Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de lactuca sativa.

**Tabla 1. Materiales.**

**Fuente: Elaboración propia**

Material	Cantidad
Contenedor hermético de 27 de galones con tapa	1 unidad
Tubo PVC sanitario de 4 pulgadas	8 metros
Tubo PVC hidráulico de 1 pulgada	6 metros
Conexión T PVC de 1 pulgada	13 unidades
Codo 90 grados PVC de 1 pulgada	7 unidades
Canastillas de 7 cm de diámetro por 6 cm de profundidad	11 unidades
Bomba pequeña de agua sumergible	1 unidad

### **Metodología de prototipado**

En el desarrollo de este proyecto, se optó por la metodología de prototipado, la cual se caracteriza por ser un enfoque iterativo que abarca las etapas de diseño, construcción, implementación y ajuste del plan. Esta elección se basó en un análisis exhaustivo, el cual concluyó que dicha metodología se adecua de manera óptima a las necesidades del proyecto en cuestión. Es importante señalar que el objetivo principal de este proyecto radica en el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema aeropónico vertical.

### **Etapas**

La metodología se divide en seis fases claramente definidas:

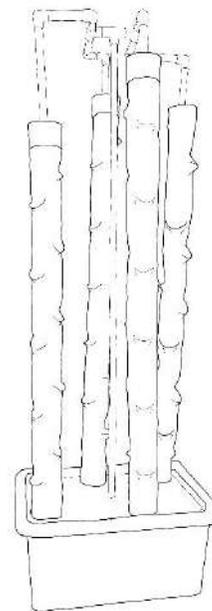
1. Análisis de modelos: Esta etapa comprende una investigación exhaustiva de modelos anteriores, enfocándose en destacar sus aspectos positivos y la selección de los materiales más apropiados.
2. Diseño del prototipo: Hicimos uso de software especializado para diseñar la estructura, definiendo las cantidades y dimensiones requeridas de manera precisa.
3. Adquisición de materiales y componentes: Adquirimos los materiales y herramientas requeridas para la construcción del prototipo.
4. Construcción del prototipo: Iniciamos el ensamblaje de la estructura y la incorporación de los componentes según el diseño previamente elaborado.
5. Pruebas y evaluación: Realizamos pruebas exhaustivas para verificar su funcionamiento correcto, identificando posibles errores y corrigiéndolos de manera inmediata.

A continuación, se dan a conocer los detalles esenciales de construcción del prototipo y se muestran en la tabla No. 2.

**Tabla 2. Generalidades del proyecto.**

Fuente: *Elaboración propia*

Parte	Características
Sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>El prototipo cuenta con un sistema de distribución de agua por medio de tubería de PVC de 1 pulgada.</li> <li>El sistema cuenta con una bomba de agua sumergible.</li> <li>Contenedor hermético utilizado para almacenar 17 galones de agua</li> </ul>
Columna	<ul style="list-style-type: none"> <li>La columna de este modelo está diseñada de forma vertical.</li> <li>La altura promedio de cada columna es de 2 metros.</li> <li>Cada columna está conformada por un tobo de PVC de 4 pulgadas.</li> <li>Cuenta con agujeros con una separación de 25 cm.</li> <li>Agujeros con un diámetro aproximado de 7 cm.</li> </ul>
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubo PVC hidráulico de 1 pulgada.</li> <li>Tubo PVC de sanitario de 4 pulgadas.</li> <li>Codos 90° PVC de 1 pulgada</li> <li>Bomba sumergible silenciosa.</li> <li>Conexiones T PVC de 1 pulgada.</li> <li>Canastillas de 7 cm de diámetro por 6 cm de profundidad.</li> <li>Contenedor hermético para 27 galones de agua.</li> </ul>
Capacidad total de plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Columna: 18 plantas</li> <li>Total por prototipo: 72 plantas</li> </ul>



**Figura 1. Diseño del prototipo aeropónico vertical.**  
Fuente: *elaboración propia.*

**RESULTADOS**

Como resultado, llevamos a cabo el armado del prototipo con precisión. Este proceso involucró la preparación de los tubos y contenedores, así como su ensamblaje, y la integración con una bomba de agua sumergible, el Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de lactuca sativa terminado se muestra en la figura No. 2.

El diseño del prototipo se muestra en la figura No. 1



**Figura 2. Prototipo aeropónico vertical terminado.**  
**Fuente: elaboración propia.**

A continuación, se desglosa cada paso del proceso:

**Preparación de los tubos y contenedores:** Inicialmente, seleccionamos los tubos y contenedores adecuados para nuestro sistema. Luego, procedimos a realizar los orificios necesarios en estos elementos. Estos orificios cumplen una función crucial, ya que servirán como receptáculos para las plantas y facilitarán el flujo de agua y nutrientes a través del sistema.

**Ensamble de las partes:** Con los tubos y contenedores listos, procedimos al ensamblaje de todas las partes del prototipo. Cada elemento se colocó estratégicamente en su posición, siguiendo un diseño previamente definido. Aseguramos que todas las conexiones fueran herméticas y seguras para evitar fugas y garantizar el funcionamiento eficiente del sistema.

**Conexión con la bomba de agua sumergible:** Para asegurar el suministro constante de agua

y nutrientes a las plantas, integramos una bomba de agua sumergible en el prototipo. Esta bomba se conectó a los tubos de manera que pudiera proporcionar un flujo de agua continuo y controlado.

**Colocación de canastillas y/o hule espuma:** Para dar cabida a las plantas y proporcionar un ambiente propicio para su crecimiento, se colocaron canastillas y/o hule espuma en los orificios de los tubos. Estos elementos sirvieron como medios de cultivo, asegurando que las raíces de las plantas estuvieran bien sujetas y permitiendo que el agua y los nutrientes fluyeran de manera uniforme alrededor de las raíces.

Una vez completados todos estos pasos, el prototipo quedó listo para recibir las plantas. Este diseño cuidadosamente ejecutado proporciona un entorno ideal para el cultivo de plantas, asegurando un suministro constante de agua y nutrientes, lo que favorece un crecimiento saludable y sostenible. En resumen, el proceso de armado del prototipo combina la ingeniería precisa con la horticultura, creando un sistema eficiente y eficaz para el cultivo de plantas en un entorno controlado.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por su generoso apoyo financiero que ha hecho posible la realización de este proyecto “Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de lactuca sativa en la ciudad de Misantla Veracruz” su contribución ha sido fundamental para llevar a cabo nuestra investigación y alcanzar los objetivos propuestos. Este respaldo financiero no solo ha fortalecido la calidad de nuestro trabajo, sino que también ha impactado positivamente en el avance de la ciencia y la tecnología en nuestra institución.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del prototipo aeropónico vertical ha sido un proceso profundamente enriquecedor y multidisciplinario que abarca desde la concepción de la idea hasta la materialización de un enfoque innovador y necesario en la agricultura. A través de una cuidadosa investigación y desarrollo, se ha logrado diseñar un sistema que busca abordar los desafíos de cultivo en espacios reducidos y la eficiencia en el uso de recursos, así como también reducir el tiempo de producción. Este sistema nos ayuda a poder tener una producción mayor en un menor tiempo a comparación de una siembra tradicional. Además, este sistema destaca la importancia de la sostenibilidad y la responsabilidad social al reducir el consumo de agua y energía, al tiempo que maximizan el rendimiento por unidad de superficie. A lo largo de este proceso, se ha demostrado cómo la investigación rigurosa, la innovación consciente y la colaboración interdisciplinaria pueden dar lugar a soluciones agrícolas impactantes que no solo mejoran la eficiencia y el ahorro de recursos, sino que también generan un impacto positivo en la sociedad en su conjunto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C.J. Hernández Salamanca, & J.S. Piñeros Muñoz, “*Diseño de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico*”, thesis, Universidad Ean Facultad de Ingeniería de Producción, Bogotá, 2013
- [2] C. M. Flores Vargas, “*Prototipo de invernadero vertical, aeropónico usando IoT y control de microclima*”, M.S. thesis, Universidad Mayor de San Andrés, Ciudad de la Paz, Bolivia, 2020
- [3] Quintero, E. F. C., Baena, J. E. T., & Carvajal, G. A. *Prototipo Aeropónico Automatizado: un Camino hacia la Producción Agrícola y Desarrollo Sostenible* Automated Aeroponic
- Prototype: a Path to Agricultural Production and Sustainable Development. AVANCES Y PERSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA 4.0, 113.**
- [4] CARVAJAL RUIZ, German Alberto, et al. *Diseño e implementación de un sistema de control de riego para prototipo automatizado de cultivos aeropónicos de cilantro*. 2022.
- [5] HERNÁNDEZ, C. J.; PIÑEROS, J. S. *Diseño de un prototipo de un sistema de producción tipo aeropónico*. [Ingeniería de producción]. Universidad EAN, 2013.
- [6] CONTRERAS, David Mateus, et al. *AUTOMATIZACIÓN DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO*. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA (RCTA), 2021, vol. 2, no 38, p. 54-59.
- AGUIRRE, Édgar; MONJE CARVAJAL, Jhon
- [7] Jairo. *Development of a monitoring system for aquaponics in homes based on IOT*. 2018.
- [8] RUBIO, Jorge E. Herrera; ORTIZ, Víctor J. *Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura*. Investigación e Innovación en Ingenierías, 2022, vol. 10, no 1, p. 30-41.

## Sistema de punto de venta con sistema de inventario para el minisúper “Yeye”

Angel Jahir Ocaña Argüelles  
202t0557@itsm.edu.mx

Roberto González García  
202t0482@itsm.edu.mx

Lic. Daniela Lizbeth Hernández Sánchez  
daniela\_lizbeth@itsm.edu.mx

MSC. Arnulfo Gamaliel Hernández González  
aghernandezg@itsm.edu.mx

Contacto:  
daniela\_lizbeth@itsm.edu.mx  
+52 235 100 7866

### Tecnología y desarrollo

Angel Jahir Ocaña Argüelles, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Roberto González García, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Daniela Lizbeth Hernández Sánchez, Licenciatura, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;  
Arnulfo Gamaliel Hernández González, Maestría, Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

**RESUMEN:** *En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos del diseño y desarrollo de un software de escritorio de punto de venta con sistema inventario basado en la arquitectura modelo-vista-controlador (MVC). El sistema fue desarrollado en .NET utilizando en entorno de desarrollo integrado Visual Studio 2022, mientras que para el desarrollo de la base de datos fue utilizado SQL server. El sistema en cuestión permite la gestión de ventas y la reposición de inventario de manera eficiente. En el punto de venta, se*

*pueden registrar y procesar transacciones, calcular totales y aplicar descuentos. La gestión de inventario implica un control preciso de los niveles de stock, la actualización automática después de cada venta y la reposición de productos a través de compras. También ofrece capacidades de administración que permiten configurar usuarios, gestionar productos y proveedores, y generar informes de ventas. En resumen, este software brinda a pequeños comercios herramienta para optimizar sus operaciones.*

**PALABRAS CLAVE:** *Base de datos, Modelo Vista Controlador, Punto de venta.*

**ABSTRACT:** *This work shows the results obtained from the design and development of a point-of-sale desktop software with an inventory system based on the model-view-controller (MVC) architecture. The system was developed in .NET using the Visual Studio 2022 integrated development environment, while SQL server was used for the development of the database.*

*The system in question allows for efficient sales management and inventory replenishment. At the point of sale, transactions can be recorded and processed, totals calculated, and discounts applied. Inventory management involves precise control of stock levels, automatic updating after each sale, and replenishment of products through purchases. It also offers administration capabilities that allow you to configure users, manage products and suppliers, and generate sales reports. In summary, this software provides small businesses with a tool to optimize their operations.*

**KEYWORDS:** *Database, Model View Controller, Point of Sale.*

## INTRODUCCIÓN

La tecnología ha transformado radicalmente nuestra forma de vivir y de hacer negocios en la actualidad. En un mundo impulsado por la digitalización, la eficiencia se ha convertido en la clave para el éxito en el comercio. En este

contexto, los sistemas de punto de venta han sido un pilar fundamental para los comercios físicos, permitiendo llevar un registro de ventas, compras y control de inventario. Sin embargo, ¿qué sucede cuando estos sistemas no brindan la información necesaria para tomar decisiones con eficiencia y evitar pérdidas económicas?

Este es el dilema que enfrentan muchas empresas en la actualidad. Los sistemas de puntos de venta tradicionales han demostrado ser insuficientes para satisfacer las demandas de un mercado en constante evolución. La necesidad de tomar decisiones informadas sobre la gestión de inventario se ha convertido en un desafío apremiante, y es aquí donde nuestro proyecto toma relevancia.

En este artículo, exploraremos el diseño, desarrollo y lanzamiento de un sistema de punto de venta mejorado que va más allá de las funciones convencionales. La propuesta es simple pero poderosa: permitir a los comercios tomar decisiones informadas a través de informes detallados sobre ventas y niveles de inventario. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce errores humanos y maximiza los beneficios para el usuario final.

La implementación de este sistema automatizado revolucionará la gestión de inventario, brindando a los comercios una visión más clara y un control efectivo de sus productos. La toma de decisiones sobre reponer productos, cuándo hacerlo y en qué cantidades se volverá más precisa, lo que se traducirá en una mayor satisfacción del cliente y un aumento en la rentabilidad del negocio.

En las siguientes secciones, exploraremos la metodología de prototipado utilizada en el desarrollo de este sistema, así como los resultados obtenidos en un entorno de Visual Studio 2022 y SQL Server 2018. Este sistema no es solo un programa más; está diseñado

pensando en las necesidades reales de los comercios, con el propósito de hacer que la venta y el manejo del inventario sean más fáciles y eficientes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología

La metodología de prototipo es la que más se adapta al desarrollo de este software, ya que se comenzó a prototipar elaborando diseños que permitan al usuario ver cómo podría quedar el sistema, con la ventaja de poder mejorar, reemplazar o rehacer secciones para que se adapten a las necesidades ya que permite una retroalimentación por parte del cliente, permitiendo hacer iteraciones para modificar el prototipo, al ser una metodología flexible permite trabajar en el proyecto donde aún algunos requisitos no se encuentran totalmente definidos, y de igual manera permite una mayor adaptabilidad a las necesidades actuales del usuario y a las necesidades que puedan surgir en el proceso.

### Etapas del proyecto

1. Definición de Objetivos y Requisitos Iniciales: En esta etapa se realizó una entrevista con el cliente para definir los objetivos y requisitos a implementar en el proyecto.
2. Desarrollo del Prototipo Inicial: En esta etapa es donde se comienza el desarrollo del primer prototipo, el cual será mostrado al cliente para determinar si es de su agrado.
3. Prueba y evaluación: Aquí se muestra los avances al asesor que tomará decisiones y dará a conocer los puntos menos fuertes del proyecto como prototipo.
4. Modificación: En esta etapa se comienza a modificar el proyecto ya con

las observaciones realizadas, con el objetivo de mejorar el proyecto.

5. Documentación: Una vez que el proyecto ha sido terminado, comienza la documentación del mismo, se define claramente cómo funciona y cómo se utiliza.
6. Resultados: Una vez terminado el proyecto se espera cumplir con los objetivos y alcances predefinidos.

### Desarrollo

Entre las actividades que se realizaron para llevar a cabo el proyecto de software, se realizó la recolección de requerimientos para comenzar a desarrollar, en esta etapa se implementó la técnica de entrevista donde se abordó al cliente en repetidas ocasiones para definir los requerimientos funcionales del sistema.

El proceso de diseño de las interfaces gráficas fue de vital importancia, ya que constituyó el punto de partida para el prototipo presentado al cliente. Esto permitió obtener valiosas retroalimentaciones que fueron esenciales para la mejora del prototipo, garantizando su alineación con las necesidades específicas del proyecto. Este enfoque iterativo y colaborativo fue crucial para el éxito del desarrollo, asegurando que las soluciones propuestas estuvieran en constante evolución y adaptación a lo largo del proyecto.

Una vez que el prototipo fue aceptado totalmente, se comenzó a diseñar la base de datos tomando en cuenta los datos que se necesitaban almacenar en una fuente estructurada y segura. Seguido de esto, se comenzó el desarrollo de la base de datos que posteriormente uniríamos con las interfaces para darle funcionalidad al prototipo.

Para el diseño y desarrollo de las interfaces gráficas se utilizó el entorno de desarrollo integrado Visual Studio 2022 como una

herramienta eficaz que permitió crear el primer prototipo de una manera rápida gracias a su facilidad en el desarrollo de interfaces. Se trabajó con el lenguaje de programación Visual Basic para desarrollar las interfaces gráficas, para diseñar la base de datos se utilizó el software de Case Studio 2, una herramienta de modelado de bases de datos, que permite crear diagramas entidad-relación de una manera muy sencilla, proporcionando al desarrollador todo lo que se necesita, desde la creación de tablas, la creación de las relaciones entre ellas, hasta la generación del script que permite crear la base de datos completa.

La base de datos se realizó en el software de SQL Server Management Studio, este es un entorno de desarrollo integrado que permite gestionar cualquier tipo de infraestructura de SQL server, esto incluye su configuración, administración. Otorga una gran cantidad de herramientas que permite a los desarrolladores y administradores de todos los niveles, una experiencia óptima y sencilla al acceder a SQL Server.

## RESULTADOS

Un buen diseño de la base de datos hace una gran diferencia al momento de organizar los datos que se deben guardar, para el diseño de la base de datos se utilizó una herramienta Case de nombre Case Studio 2. La base de datos cuenta con las siguientes tablas: clientes, empleados, ventas, productos, categorías, compras y proveedores.

### Módulo de Inicio de Sesión

La pantalla de inicio de sesión es un componente esencial para garantizar la seguridad y gestión eficiente de usuarios en el sistema de ventas para tiendas de abarrotes. La interfaz de ingreso es intuitiva, solicitando al usuario introducir su nombre de usuario y contraseña, que deben estar previamente

registrados en la base de datos del sistema. Se han definido dos roles clave: el "Super Administrador" con acceso total a todas las funcionalidades, incluyendo la administración de usuarios, y el "Vendedor" enfocado en ventas, inventario y atención al cliente, sin acceso a configuraciones avanzadas. Una vez que se ingresan los datos correctos, el usuario puede acceder al sistema con un clic en "Iniciar sesión". En caso de datos incorrectos o si el usuario no está registrado, el sistema proporcionará un mensaje de error correspondiente, garantizando la seguridad y la adecuada gestión de roles.

El Módulo de Ventas se posiciona como un activo fundamental para mejorar la eficiencia y la experiencia en las tiendas de abarrotes. Su función principal reside en simplificar el proceso de ventas mediante la rápida introducción de productos a través de códigos de barras, lo que disminuye errores y agiliza las transacciones. La capacidad de asignar ventas a clientes previamente registrados potencia la personalización y fortalece las estrategias de fidelización. En conjunto, estos atributos del Módulo de Ventas contribuyen significativamente a la optimización de la operación comercial, aumentando la satisfacción del cliente y la eficiencia en el entorno de las tiendas de abarrotes, en la figura No. 1 se puede apreciar la interfaz de usuario con un diseño sencillo e intuitivo.



**Figura 1: Módulo de ventas**  
Fuente: Elaboración propia

La Ventana de Cobro, etapa final del proceso de venta, desempeña un papel crucial en la experiencia del cliente. Presenta de manera detallada los productos seleccionados con su información esencial, brindando transparencia y confianza. Además, incluye datos relevantes como el nombre del establecimiento, el empleado, el cliente y la fecha de la transacción, lo que agrega un toque personalizado, se puede apreciar en la figura No. 2. La ventana también ofrece un resumen claro del monto total a pagar, facilitando el proceso de pago para el cliente y calculando automáticamente el cambio. Las opciones de cobro, impresión de recibos, ajustes en el carrito o cancelación de ventas brindan flexibilidad y eficiencia en la gestión de transacciones, contribuyendo a una experiencia de compra óptima.

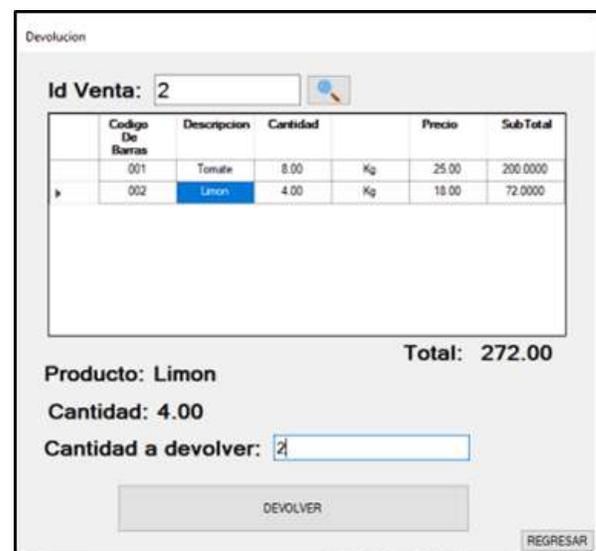


**Figura 2: Módulo de cobro**  
Fuente: Elaboración propia

El módulo de Devoluciones que se presenta en la figura No. 3 se posiciona como una

herramienta esencial para gestionar de manera efectiva las devoluciones de productos previamente vendidos. Su propósito radica en simplificar y agilizar el proceso de devolución, permitiendo una rápida identificación de los productos y una gestión eficiente de las transacciones.

Los beneficios clave de esta ventana incluyen una mayor satisfacción del cliente al ofrecer un proceso de devolución sin complicaciones y una mayor precisión en el registro de las devoluciones en el sistema, lo que contribuye a una gestión más eficiente de inventario y ventas. En resumen, la Ventana de Devoluciones optimiza la experiencia del cliente y mejora la eficiencia operativa en tiendas de abarrotes.



**Figura 3: Módulo de devoluciones**  
Fuente: Elaboración propia

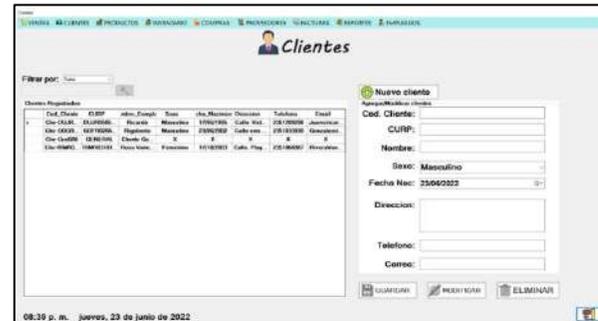
El Módulo de Compras presentado en la figura No 4, se enfoca en gestionar las adquisiciones de productos a proveedores, con el propósito de mantener un control preciso del inventario y promover relaciones transparentes con los

proveedores. Sus beneficios clave incluyen simplificar el proceso de adquisición, brindar flexibilidad en la gestión de compras y permitir la asignación de compras a proveedores específicos. Esto contribuye a una gestión eficiente de recursos y mejora las relaciones con proveedores, lo que se traduce en una operación más efectiva para las empresas.



**Figura 4: Módulo de compras**  
**Fuente: Elaboración propia**

El Módulo de Clientes se presenta como un componente esencial en el sistema de ventas. Su función se centra en la gestión de la información relacionada con los clientes. Al registrar datos como nombres, contactos y preferencias, este módulo permite una atención más personalizada. Entre los beneficios notables se encuentra la posibilidad de mantener un historial de compras de cada cliente, lo que facilita estrategias de fidelización y un mejor servicio. Además, la segmentación de clientes en diferentes categorías optimiza las acciones de marketing y promoción. En resumen, como se puede apreciar en la figura No 5, el Módulo de Clientes fortalece las relaciones con los consumidores y contribuye al éxito en la gestión comercial.



**Figura 5: Módulo de clientes**  
**Fuente: Elaboración propia**

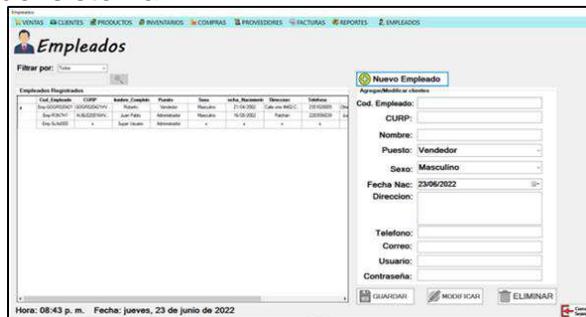
El Módulo de Proveedores se posiciona como un componente clave en el sistema. Su función principal radica en la gestión de la información relacionada con los proveedores de productos. Al registrar datos como nombres, detalles de contacto y acuerdos de suministro, este módulo potencia una comunicación efectiva con los socios comerciales.

Un beneficio destacado es su capacidad para mantener un historial de las transacciones con proveedores, lo que mejora la administración del inventario y garantiza un flujo constante de productos. La categorización de proveedores simplifica la toma de decisiones estratégicas y la búsqueda de nuevas oportunidades, fortalece las relaciones comerciales y mejora la eficiencia en la gestión de suministros, el módulo de proveedores se muestra en la figura No 6.



**Figura 6: Módulo de proveedores**  
Fuente: Elaboración propia

El Módulo de Empleados mostrado en la figura No 7, representa una parte fundamental del sistema, ya que permite la asignación de roles y permisos a los usuarios. Su función principal es facilitar la gestión de perfiles de empleados, lo que resulta esencial para garantizar la seguridad y eficiencia en la operación del sistema. La interfaz de este módulo muestra de manera clara y sencilla las opciones de roles disponibles, lo que simplifica el proceso de asignación. Los beneficios son evidentes: una adecuada distribución de responsabilidades, control de acceso y una mayor seguridad en el uso del sistema.



**Figura 7: Módulo de empleados**  
Fuente: Elaboración propia

El Módulo de Productos se erige como un componente esencial en la gestión de inventario. La posibilidad de registrar productos, unidades de medida y categorías se traduce en una organización efectiva del catálogo de productos. Este enfoque simplifica la búsqueda y clasificación de productos, lo que resulta en una administración más eficiente del inventario. La interfaz de este módulo se presenta de manera intuitiva en la figura No 8, permitiendo un registro ágil y detallado de productos, con datos como nombre, código de barras y precio. En resumen, el Módulo de Productos ofrece una base sólida para el control y seguimiento de los artículos disponibles, mejorando la gestión global de inventario.



**Figura 8: Módulo de productos**  
Fuente: Elaboración propia

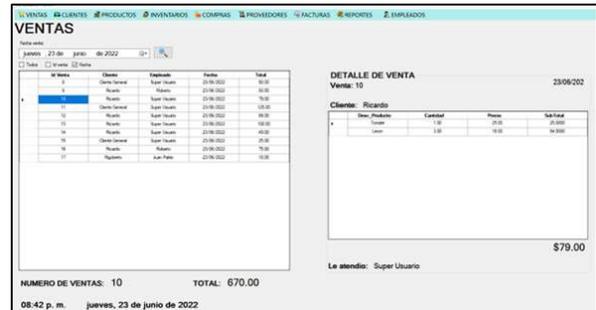
El Módulo de Inventario devela su importancia como el núcleo de la gestión de stock y su aspecto se muestra en la figura No. 9. Permite un seguimiento exhaustivo de los productos disponibles, su cantidad y estado. Esto se traduce en una toma de decisiones más fundamentada y eficiente. La interfaz simplifica la revisión de productos en existencia, agiliza la realización de inventarios y facilita la identificación de productos con bajo stock. Además, se brinda la capacidad de realizar

ajustes y traslados de productos, lo que contribuye a una gestión precisa y actualizada. En resumen, el Módulo de Inventario potencia la gestión de stock y garantiza la disponibilidad de productos en todo momento, optimizando la operación de la tienda.



**Figura 9: Módulo de inventario**  
Fuente: Elaboración propia

El Módulo de Consultas emerge como un recurso esencial para una gestión informada. Facilita los cortes de caja, la consulta de ventas, compras y facturación. Proporciona una panorámica detallada de todas las transacciones registradas, permitiendo un análisis integral de la actividad comercial. Los datos están organizados por fechas, brindando una visión general de las operaciones. Además, se dispone de un desglose pormenorizado de cada transacción, lo que facilita la identificación de tendencias y patrones. En resumen, el Módulo de Consultas se erige como una herramienta fundamental para tomar decisiones basadas en datos concretos y promover una gestión eficiente y estratégica del negocio, se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 10: Módulo de detalles de venta**  
Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo y consecución de los objetivos planteados en este proyecto han llevado a la creación exitosa de un Sistema Integral de Gestión de Ventas y Control de Inventario basado en la arquitectura Modelo-Vista-Controlador (MVC). Este sistema, construido en la plataforma .NET con Visual Studio 2022 y respaldado por una base de datos en SQL Server 2018, ha logrado alcanzar sus metas específicas y proporcionar soluciones efectivas a los desafíos identificados en la gestión comercial de pequeños negocios.

En términos del Objetivo General, el sistema ha demostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la gestión de ventas y el control de inventario. Los usuarios ahora pueden tomar decisiones informadas gracias a la eficiente introducción de productos mediante códigos de barras, cálculos precisos de totales, la aplicación de descuentos y la gestión en tiempo real de los niveles de inventario. Además, las funcionalidades de administración permiten configurar usuarios, gestionar productos y proveedores, y generar informes de ventas, brindando a los usuarios un control total sobre sus operaciones comerciales. La aplicación exitosa de la metodología de

prototipado ha permitido ajustes continuos basados en la retroalimentación del cliente, asegurando la adaptabilidad y relevancia del sistema en un entorno empresarial en constante evolución.

La documentación detallada proporciona una guía completa de uso, facilitando la implementación y el mantenimiento del sistema. La presentación de resultados en un entorno de Visual Studio 2022 y SQL Server 2018 destaca las características y funcionalidades del sistema, validando su desarrollo exitoso. En última instancia, este sistema no solo cumple con los requisitos técnicos establecidos, sino que también resalta su importancia en la mejora de la gestión de inventario y la toma de decisiones informadas en pequeños comercios, contribuyendo significativamente a su competitividad en un entorno empresarial digitalizado. Este proyecto representa un paso adelante en la integración de soluciones tecnológicas para optimizar la gestión comercial y fortalecer la posición de los pequeños negocios en el mercado actual.

## BIBLIOGRAFÍA

Debe cumplir con lo siguiente:

1. Hacer el llamado en el texto [1].
2. Ser escritas en Arial, 11 Pts cursivas negritas, utilizando formato IEEE, numeradas con corchetes [1].
3. Mínimo 5 citas recientes.

**[1] SANTOS GERMÁN, V. J. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTA PARA LA DISTRIBUIDORA JOSYMAR TRUJILLO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTA PARA LA**

**DISTRIBUIDORA JOSYMAR TRUJILLO. Chimbote, Perú.**

**[2] Tinoco, E., & Solís, I. (2014). Programación web con CSS, JavaScript, PHP y AJAX. Iván Soria Solís.**

**[3] Torres, D. D. (2017). Sistema de Punto de Venta y Gestión de Inventario. Villa de Alvarez, Colima.**

**[4] Vásquez, K. C. (12 de 2021). ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE PUNTO DE VENTA CON CONTROL DE VENTAS DE ANTIBIÓTICOS PARA FARMACIAS EN MÉXICO. Puebla, Puebla, México: BÉNEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA. Obtenido de BÉNEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/15967>**

**[5] Velasco, D. H. (11 de 2019). Universidad Autonoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Zumpango. Obtenido de Universidad Autonoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Zumpango: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105188>**

**[6] ORDOÑEZ, M. D. (11 de 2011). Sistema para punto de venta en "microempresas". Sistema para punto de venta en "microempresas". Quito, Quito, Ecuador.**

**[7] Rivas, C. I., Corona, V. P., Guitierrez, J. F., & Hernandez, L. (24 de 11 de 2015). Metodologías actuales de desarrollo de software. Obtenido de [https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia\\_e\\_innovacion/vol2num5/Tecnologia\\_e\\_Innovacion\\_Vol2\\_Num5\\_6.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol2num5/Tecnologia_e_Innovacion_Vol2_Num5_6.pdf)**

## Propuesta técnica para el saneamiento de la cuenca alta a media del río Misantla, Ver.

Axel Yahir Aguilar Hernández<sup>1</sup>  
202t0426@itsm.edu.mx

Joaquín Sangabriel Lomelí<sup>2</sup>  
jsangabriell@itsm.edu.mx

Luis Carlos Sandoval-Herazo<sup>3</sup>  
lcsandovalh@itsm.edu.mx

Oscar Moreno Vázquez<sup>4</sup>  
omorenov@itsm.edu.mx

Brenda Suemy Trujillo García<sup>5</sup>  
212t0022@itsm.edu.mx

Contacto:  
jsangabriell@itsm.edu.mx  
Tel.: +52 235110 6889

### SUSTENTABILIDAD

<sup>1</sup>Axel Yahir Aguilar Hernández, Alumno de la licenciatura en ingeniería civil del ITSM, Departamento de Ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>2</sup>Joaquín Sangabriel Lomelí, Maestro en ingeniería con opción terminal en estructuras. Departamento de ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>3</sup>Luis Carlos Sandoval Herazo, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>4</sup>Oscar moreno Vázquez, Maestro en Vías Terrestres, Departamento de Ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>5</sup>Brenda Suemy Trujillo García, Maestra en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

**RESUMEN:** *El uso de humedales de tratamiento para el saneamiento de ríos son una solución efectiva y sostenible actuando como sistemas de filtración, ayudando a eliminar contaminantes y nutrientes del agua antes de que fluya nuevamente al río.*

*Asimismo, son eficaces en la descomposición de materia orgánica, lo que reduce la demanda de oxígeno del agua y mejora la calidad general del río. El objetivo de la presente investigación es desarrollar una propuesta de saneamiento*

*en la cuenca del río Misantla, en Misantla, Ver., aguas arriba en la cual se propuso una solución basada en estos sistemas usando humedales de tratamiento subsuperficiales de flujo horizontal, debido que es una solución económica y amigable con el medio ambiente en comparación con otras tecnologías convencionales. La propuesta se basa en 10 humedales construidos en localidades aguas arriba, con la finalidad de darle un tratamiento a las aguas, antes de ser vertidas en el río, por lo que se determinó la superficie y forma adecuada en función de cantidad de materia orgánica generada por localidad, utilizando la ecuación derivada del modelo de cinética de primer orden y la ecuación de Arrhenius. Como resultado se propuso un sistema único sólo variando la superficie de tratamiento, el lugar de desplante y las pendientes.*

**PALABRAS CLAVE:** Contaminación, saneamiento, río, humedales, construidos.

**ABSTRACT:** The use of treatment wetlands for river sanitation is an effective and sustainable solution by acting as filtration systems, helping to remove contaminants and nutrients from the water before it flows back into the river. They are also effective in breaking down organic matter, which reduces the oxygen demand of the water and improves the overall quality of the river. The objective of this research is to develop a sanitation proposal in the Misantla River basin, in Misantla, Ver., upstream in which a solution based on these systems was proposed using horizontal flow subsurface treatment wetlands, because it is an economical and environmentally friendly solution compared to other conventional technologies. The proposal is based on 10 wetlands built in upstream locations, with the purpose of treating the water before

being discharged into the river, so the appropriate surface and shape was determined based on the amount of organic matter generated. by location, using the equation derived from the first-order kinetics model and the Arrhenius equation. As a result, a unique system was proposed only varying the treatment surface, the planting location, and the slopes.

**KEYWORDS:** Pollution, sanitation, river, wetlands, built.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es un problema de nivel mundial [1]. En México solo el 41% de los municipios aplicaron algún tratamiento a las aguas residuales [2]. Por otro lado, el 59% de los municipios no trataron sus aguas, lo que desencadena un riesgo para los seres vivos [3], y del mismo modo afecto al medio ambiente [4]. Las plantas de tratamiento habituales no son económicamente adecuadas para el tratamiento de aguas residuales de localidades con recursos económicos limitados [5]. Los sustratos que se utilizan en los humedales deben de cumplir con las siguientes características: porosos y/o ásperos es por ello que se utilizan gravas, rocas volcánicas o arena [6].

## MATERIAL Y MÉTODOS

En naciones de clima tropical como lo es México, la cantidad de información disponible sobre el rendimiento de estos sistemas han sido insuficiente para desarrollar pautas de diseño y criterios específicos [7].

El proyecto tiene como objetivo desarrollarse en la ciudad de Misantla, Ver, con coordenadas 19°55'51.86"N 96°51'6.09"O, en el saneamiento del río de la ciudad, utilizando humedales artificiales en las siguientes localidades:

*Tabla 1. Ubicación de las localidades*  
Fuente: Elaboración propia.

Localidad	Latitud	Longitud
Guadalupe Victoria (La Vaquería)	19°54'31.923 N	96°51'03.373 W
Los Ídolos	19°53'41.719 N	96°51'30.127 W
El Pozón	19°53'32.440 N	96°52'10.300 W
Paso Blanco	19°52'05.906 N	96°52'22.931 W
Santa Cruz Buena Vista	19°50'55.995 N	96°52'54.445 W
Ejido Trapiche.	19°50'53.797 N	96°51'58.766 W
Los Trapiches	19°50'31.211 N	96°52'19.780 W
Pueblo Viejo Manuel Gutiérrez Nájera	19°47'34.144 N	96°51'43.202 W
Salvador Díaz Mirón	19°47'08.351 N	96°52'20.187 W

### 2.1 Selección del sitio.

La selección del lugar donde se llevará a cabo la construcción del humedal es un proceso indispensable que debe cumplir con ciertos factores para ser elegido apto, como son: la topografía del lugar, la cercanía con escorrentías de agua donde será vertida el agua tratada, la disponibilidad de espacios y la accesibilidad para el mantenimiento.

Para este punto se realizó una inspección visual del área, evaluando información necesaria para determinar la diversidad ecológica de la zona de este modo, conocer las ventajas y desventajas que llevará consigo la construcción del humedal.

### 2.2 Estudio topográfico.

Para realizar este paso, se tomó la información recabada anteriormente, se llevó equipo topográfico y personal calificado para proceder con el levantamiento topográfico. Se colocó y calibró la estación total en el área de trabajo y se procedió a sacar los puntos para finalmente procesarlos en AutoCAD y obtener las curvas de nivel. De este modo se definieron las elevaciones del terreno y se propuso la estructura en relación a los estudios de topografía.

### 2.3 Elección de forma y dimensionamiento del humedal.

El proyecto se caracteriza por utilizar humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las localidades antes mencionadas, utilizando humedales de flujo subsuperficial.

Se diseñó un humedal tipo, para este proyecto, el cual posee una forma de pirámide, representando la cultura del Totonacapan, que caracteriza a la región de Misantla, puesto que se busca una identidad que caracterice el diseño con el lugar, haciendo de esto no solo una obra de infraestructura que pase desapercibida, sino más bien agregando valor cultural.

Para conocer los metros cúbicos de agua contaminada por cada pueblo, se procede a multiplicar la cantidad de personas de la localidad por 100 L/día, que es la contaminación diaria promedio por persona [8], y se divide entre 1000 L/m<sup>3</sup>, para pasarlos a metro cúbico.

$$Q = \frac{\#hab * 100L/dia}{1000L/m^3} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dicho resultado ayudara en la siguiente fórmula para determinar los metros cuadrados de humedal requeridos.

Ecuación de Arrhenius.

$$K_T = K_T * \theta^{T_1 - c} \quad \text{Ec. (2)}$$

Se deben conocer los siguientes aspectos:

- Tipo de agua a tratar
- Tipo de humedal
- Carga DBO

**Los parámetros de diseño son los siguientes:**

- Temperatura promedio del mes más caluroso (Tc).
- Temperatura promedio del mes más frío (Tf).
- Coeficiente de Arrhenius (v).

- Constante de cinética de primer orden (K).
- Caudal del afluente diario (Q).
- Profundidad de diseño del humedal (Dm).
- Porosidad del medio de soporte (n).
- Concentración de materia orgánica afluente (Co).
- Concentración de materia orgánica efluente (Ce).

Ecuación derivada modelo de primer orden.

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln(C_o) - \ln(C_e)}{K_T \cdot D_m \cdot n} \quad \text{Ec. (3)}$$

el acero de refuerzo. Estos tendrán una dimensión total de 0.15m x 0.15m. Concreto hecho en obra con una resistencia de f'c=200 kg/cm2. Recubrimiento de 2.5 cm.

DETALLES DE CASTILLOS Y CADENAS



RESULTADOS

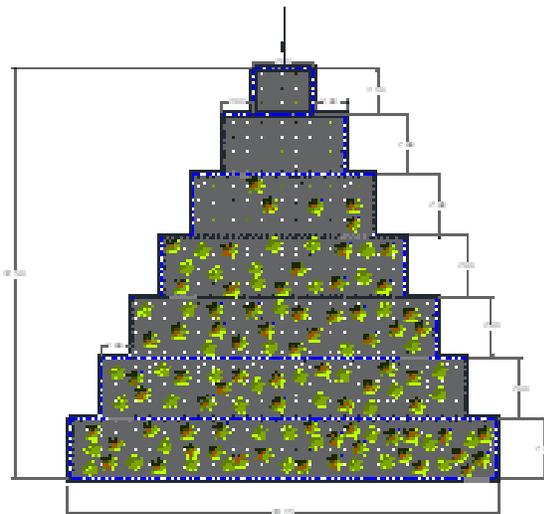


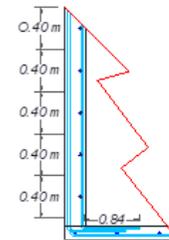
Figura 1. Humedal tipo. Fuente: Elaboración propia.

La estructura del humedal es de concreto armado, el espesor de los muros es de 15 cm, el nivel del agregado se encuentra a una altura de 1m, cada celda cuenta con un espacio de 0.8m para que pase el agua a la siguiente celda.

Los castillos y las cadenas son de Armex 1/4 15X15 3 Puntas 6 ml Físico (9.8X9.8 cm), se eligió este en específico debido al recubrimiento de concreto que debe de llevar

Figura 2. Detalle de armado de castillos y cadenas. Fuente: Elaboración propia.

El concreto en muros cuenta con una parrilla de varillas del #3 @ 40cm de separación. Con refuerzo de doble parrilla de malla electrosoldada del calibre 10, en ambos sentidos del concreto hecho en obra f'c= 200 kg/cm2, con 2 cm de recubrimiento.



CONCRETO REFORZADO CON PARRILLA DE VARILLA #3 @ 40 CM REFORZADO CON DOBLE PARRILLA DE MALLA ELECTROSOLDA DE CALIBRE 10, EN AMBOS SENTIDOS CON CONCRETO HECHO EN OBRA F'c=200 KG/CM2 2 CM DE RECUBRIMIENTO

Figura 3. Armado de muros. Fuente: Elaboración propia.

Se opta por una losa de cimentación la cual cuenta con un espesor de 12 cm, con una de malla electrosoldada de calibre 10 y reforzado

con una parrilla de varillas #3 @ 50cm, en ambos sentidos. Con un recubrimiento de 3.5cm. El concreto es hecho en obra con una resistencia de  $f'c=200\text{kg/cm}^2$ .

**Tabla 1. Área de humedal requerido.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Localidad	Cantidad de población	M2 requeridos de humedal
Guadalupe Victoria (La Vaquería)	101	26.76
Los Ídolos	298	78.96
El Pozón	503	133.28
Paso Blanco	767	203.24
Santa Cruz Buena Vista	351	93.00
Ejido Trapiche.	159	42.13
Los Trapiches	408	108.11
Pueblo Viejo	869	230.26
Manuel Gutiérrez Nájera	561	148.65
Salvador Díaz Mirón	1042	276.11

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior de Mianzantla por su inestimable contribución en la realización de este artículo. Su apoyo inquebrantable y recursos brindados fueron fundamentales en la culminación de esta investigación. El respaldo brindado por el personal académico y la infraestructura del Instituto ha sido invaluable.

## CONCLUSIONES

Los humedales de tratamiento son sistemas prometedores y sostenibles proporcionando una forma natural de mejorar la calidad del agua y restaurar los ecosistemas acuáticos.

El saneamiento de la cuenca es una tarea de vital importancia para la preservación de los recursos hídricos y la mejora de la calidad de vida de las comunidades que dependen de ella.

Este proyecto busca mitigar la contaminación de aguas residuales emitidas hacia los ríos,

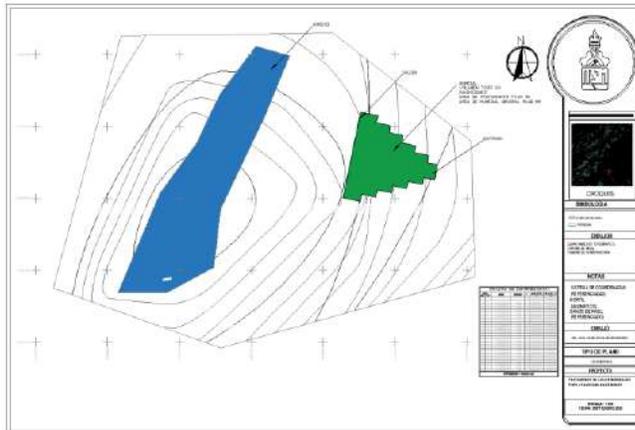
tratando que la solución sea económicamente factible.

## BIBLIOGRAFÍA

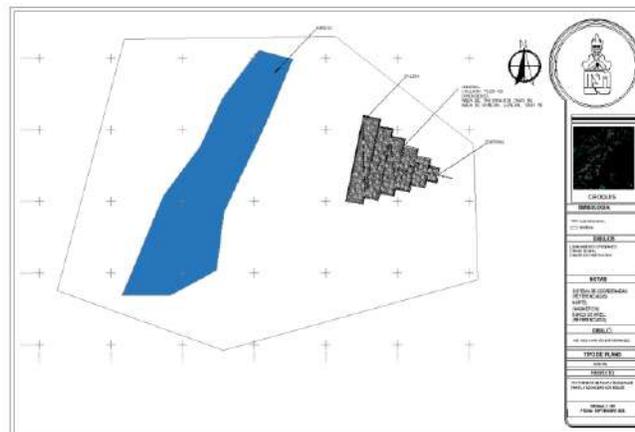
- [1] M. Brückner y H. Schwandt, «Income and Population Growth,» IZA Discussion Papers, Princeton, 2013.
- [2] INEGI, «ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL DÍA MUNDIAL DEL AGUA,» Ciudad de Mexico, 2023.
- [3] Y. Omar, A. Parker, J. Smith y S. Pollard, «Risk management for drinking water safety in low and middle income countries - cultural influences on water safety plan (WSP) implementation in urban water utilities,» 2017.
- [4] H. F. Ramírez-Carrillo, V. M. Luna-Pabello y J. L. Arredondo-Figueroa, «EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL INTERMITENTE, PARA,» Revista Mexicana de Ingeniería Química, Ciudad de Mexico, 2009.
- [5] M. Barbu, R. Vilanova, M. Meneses y I. Santin, «On the evaluation of the global impact of control strategies applied to wastewater treatment plants,» 2017.
- [6] P. Maza-Márquez, A. González-Martínez, B. Rodelas y J. González-López, «Full-scale photobioreactor for biotreatment of olive washing water: Structure and diversity of the microalgae-bacteria consortium,» Granada, Spain, 2017.
- [7] CONAGUA, «Diseño de Plantas de Tratamiento,» Tlalpan, 2015.
- [8] C. N. d. Á. N. Protegidas, «Gobierno de Mexico,» 29 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/>

**sabes-cuanta-agua-consumes. [Último acceso: 3 Noviembre 2023].**

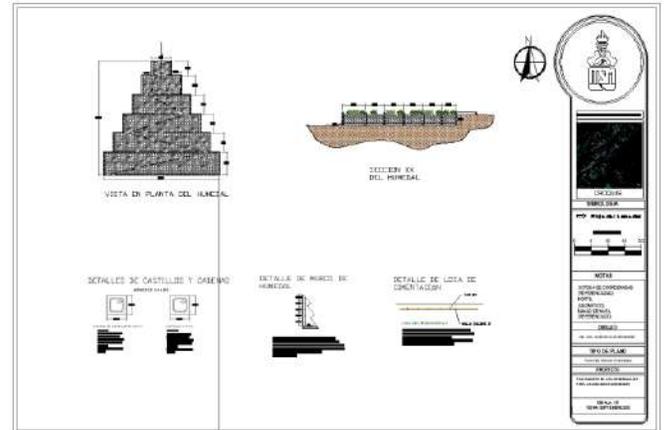
**ANEXOS.**



**Figura 4. Plano topográfico.**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 5. Plano general.**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 3. Detalles.**  
**Fuente: Elaboración propia**

## Ergonomía en la industria 4.0: Un enfoque de la Inteligencia artificial para la eficiencia y la seguridad ocupacional.

Giovanni Luna Chontal<sup>1</sup>  
glunac@itsm.edu.mx

Cesar Augusto García Sánchez<sup>2</sup>  
232t0021@itsm.edu.mx

Gabriel Grosskelwing Núñez<sup>3</sup>  
ggrosskelwing@itsm.edu.mx

Roberto Ángel Meléndez Armenta<sup>4</sup>  
ramelendeza@itsm.edu.mx

Contacto:  
ramelendeza@itsm.edu.mx  
2351076804

### Inteligencia Artificial

<sup>1</sup>Giovanni Luna Chontal, Maestro en Ingeniería Industrial, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

<sup>2</sup>Cesar Augusto García Sánchez, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

<sup>3</sup>Gabriel Grosskelwing Núñez. Maestro en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

<sup>4</sup>Roberto Ángel Meléndez Armenta, Doctor en Ciencias de la Computación, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla

**RESUMEN:** Este artículo sintetiza la relevancia de la inteligencia artificial (IA) y la ergonomía ocupacional en la Industria 4.0, destacando su impacto en la eficiencia y el bienestar humano en sus actividades laborales. Se revisaron 17 artículos, enfocándose en estudios empíricos y revisiones sistemáticas que exploran la implementación de la IA en entornos industriales y su interacción con la ergonomía. La metodología incluyó un análisis comparativo de los hallazgos para identificar tendencias comunes y discrepancias. Los resultados indican que

la IA contribuye significativamente a la optimización de procesos y la toma de decisiones, mientras que la integración de la ergonomía asegura adaptaciones centradas en el trabajador. Se observó un consenso en la necesidad de habilidades actualizadas para los empleados y una colaboración interdisciplinaria para una transición efectiva. Las conclusiones resaltan la importancia de un enfoque holístico que armonice la tecnología avanzada aplicada al diseño ergonómico que procure la integridad del operador, subrayando la necesidad de estrategias

**especializados y de capacitación para preparar a la fuerza laboral para los desafíos emergentes de la Industria 4.0.**

**PALABRAS CLAVE:** *Ergonomía ocupacional, Industria 4.0, Inteligencia Artificial, Optimización de procesos, Transición tecnológica, Trabajo centrado en el humano.*

**ABSTRACT:** *This article synthesizes the relevance of artificial intelligence (AI) and occupational ergonomics in Industry 4.0, highlighting their impact on efficiency and human well-being in occupational activities. Seventeen articles were reviewed, focusing on empirical studies and systematic reviews exploring the implementation of AI in industrial environments and its interaction with ergonomics. The methodology included a comparative analysis of findings to identify common trends and discrepancies. The results indicate that AI significantly contributes to process optimization and decision-making, while the integration of ergonomics ensures worker-centered adaptations. There was consensus on the need for updated skills for employees and interdisciplinary collaboration for effective transition. The conclusions highlight the importance of a holistic approach that harmonizes advanced technology applied to ergonomic design to ensure the operator's integrity, emphasizing the need for specialized strategies and training to prepare the workforce for the emerging challenges of Industry 4.0.*

**KEYWORDS:** *Occupational Ergonomics, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Process Optimization, Technological Transition, Human-Centered Work.*

## INTRODUCCIÓN

La cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0, representa un cambio paradigmático en la forma en que los sistemas productivos y las organizaciones operan. En este nuevo escenario, la Inteligencia Artificial (IA) emerge como un pilar fundamental, ofreciendo posibilidades sin precedentes para la automatización inteligente y la toma de decisiones en tiempo real. Paralelamente, la ergonomía ocupacional se enfrenta al desafío de adaptarse a entornos de trabajo cada vez más digitalizados y automatizados, donde la interacción humano-máquina cobra una nueva dimensión. La sinergia entre la IA y la ergonomía ocupacional tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia, la seguridad y el bienestar en el lugar de trabajo, al tiempo que impulsa la sostenibilidad de las prácticas de producción.

La Inteligencia Artificial (IA), en su sentido más fundamental, se refiere a la simulación de procesos de inteligencia humana por máquinas, especialmente sistemas informáticos. Estos procesos incluyen el aprendizaje (la adquisición de información y reglas para utilizar la información), el razonamiento (el uso de reglas para llegar a conclusiones aproximadas o definitivas) y la autocorrección. La IA es la columna vertebral de muchas tecnologías actuales, desde los vehículos autónomos al reconocimiento de voz y más allá [1]. La IA y la Ergonomía Laboral se entrecruzan en el ámbito de la Industria 4.0, contribuyendo significativamente a la transformación de los procesos industriales. La IA mejora la Ergonomía Laboral proporcionando soluciones inteligentes que optimizan el diseño y la organización de los sistemas de trabajo, mejorando así la seguridad y la productividad [2].

Un ejemplo de ello es el uso de algoritmos de IA para analizar los movimientos de los trabajadores e identificar posibles riesgos ergonómicos, permitiendo una mitigación

proactiva [3]. Además, la IA también puede ayudar a las empresas a cumplir con las regulaciones de seguridad y salud en el trabajo, lo que resulta en un menor número de accidentes laborales y una mayor sostenibilidad de la producción.

Este artículo tiene como objetivo divulgar la relevancia de la aplicación conjunta de la IA y la ergonomía ocupacional en la Industria 4.0, destacando cómo esta interacción puede conducir a una revolución en la eficiencia y la humanización de los espacios de trabajo. A través de la síntesis de las perspectivas de diversos autores y estudios, se busca proporcionar una comprensión integral de los impactos y beneficios que esta integración puede traer a la industria moderna, con el fin de informar y guiar futuras investigaciones y prácticas en el campo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología

Este estudio se basó en una revisión sistemática de 20 artículos de divulgación científica, seleccionados mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas, repositorios y revistas especializadas.

Se priorizaron artículos que abordaban la aplicación de la inteligencia artificial (IA) y la ergonomía ocupacional en el contexto de la Industria 4.0. Se utilizó una metodología de análisis comparativo para sintetizar y evaluar los hallazgos de cada estudio, identificando tendencias, coincidencias y discrepancias en la literatura existente. Los criterios de inclusión se centraron en estudios empíricos y revisiones sistemáticas que ofrecieran perspectivas claras sobre la implementación y el impacto de estas tecnologías en entornos industriales. Además, se prestó especial atención a los estudios que destacaban la interacción entre la IA y la ergonomía ocupacional, así como

aquellos que discutían las implicaciones para la capacitación y el desarrollo de habilidades en la fuerza laboral.

**Tabla 1: Matriz de desarrollo metodológico**

Fase de Investigación	Estrategias de Búsqueda y Selección	Herramientas y Técnicas Analíticas
1. Identificación de Literatura	Revisión exhaustiva en bases de datos académicas y revistas especializadas, utilizando operadores booleanos para refinar la búsqueda. Se emplearon palabras clave como "Inteligencia Artificial", "Ergonomía Ocupacional" y "Industria 4.0", combinadas con operadores como "AND" para intersecciones temáticas, "OR" para ampliar la búsqueda, y "NOT" para excluir términos no deseados.	Bases de datos digitales, motores de búsqueda académica, filtros de búsqueda avanzada.
2. Criterios de Selección	Aplicación de criterios rigurosos para elegir estudios empíricos y revisiones sistemáticas. Inclusión basada en relevancia, calidad metodológica y aportes significativos.	Listas de verificación, criterios de inclusión y exclusión.
3. Análisis Comparativo	Comparación detallada de hallazgos, metodologías y conclusiones de los estudios seleccionados.	Análisis cualitativo y cuantitativo, software de análisis de datos (VOSviewer)
4. Identificación de Tendencias y Discrepancias	Examen de patrones comunes, tendencias emergentes y contradicciones entre los estudios.	Herramientas de análisis de tendencias, revisión crítica.
5. Síntesis de Información	Integración de los resultados del análisis para obtener una comprensión holística del tema.	Técnicas de síntesis de información, resumen de hallazgos, tablas de síntesis.

**Fuente: Elaboración propia**

La Tabla 1 presenta el proceso metodológico utilizado para el análisis de la literatura sobre la interacción entre la inteligencia artificial y la ergonomía ocupacional en la Industria 4.0. Esta matriz detalla cada paso del proceso, desde la selección inicial de artículos hasta la síntesis final de la información. Este enfoque metodológico asegura un análisis exhaustivo y equilibrado de la literatura existente, permitiendo identificar tanto las tendencias predominantes como las áreas de discrepancia en la investigación actual.

### ***Integración de la IA en la Ergonomía Ocupacional***

La integración de la Inteligencia Artificial en la ergonomía ocupacional no es solo una posibilidad futura, sino una realidad en curso en la Industria 4.0.

La IA se está utilizando para analizar grandes conjuntos de datos relacionados con la salud y la seguridad en el trabajo, lo que permite identificar patrones y prevenir lesiones laborales [4].

Además, la IA contribuye a diseñar entornos de trabajo que se adaptan dinámicamente a las necesidades ergonómicas de los empleados, lo que resulta en una disminución de los riesgos ergonómicos y un aumento en la productividad [5].

### ***Ergonomía y Eficiencia de Producción***

La ergonomía ocupacional tradicionalmente se ha centrado en adaptar el trabajo al hombre, pero con la llegada de la IA, este enfoque se amplía hacia la optimización de la interacción entre humanos y máquinas inteligentes.

Los sistemas de IA pueden prever las necesidades de los trabajadores y ajustar las máquinas en consecuencia, lo que lleva a una mejora en la eficiencia de producción y una reducción en el tiempo de inactividad [6]. La personalización de las estaciones de trabajo basada en algoritmos de IA también puede llevar a una mejor salud a largo plazo de los trabajadores y a una mayor retención del personal [7].

### ***Impacto en la Salud y Seguridad***

La salud y la seguridad son aspectos cruciales de la ergonomía ocupacional. La IA tiene el potencial de transformar estos aspectos al proporcionar sistemas de monitoreo en tiempo real que pueden detectar la fatiga, el estrés y

otros factores de riesgo, permitiendo intervenciones tempranas y personalizadas [8]. Además, la IA puede ayudar en la rehabilitación de trabajadores lesionados mediante la creación de programas de recuperación adaptativos y el seguimiento de su progreso [9].

### ***Colaboración Hombre-Máquina***

La colaboración hombre-máquina es otro campo que se beneficia enormemente de la IA. Los robots colaborativos, o cobots, equipados con IA, están diseñados para trabajar junto a humanos, adaptándose a sus movimientos y ofreciendo asistencia en tareas que son físicamente exigentes o repetitivas [10].

Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce la carga física sobre los trabajadores, lo que es un claro ejemplo de cómo la IA puede mejorar la ergonomía en el lugar de trabajo [11].

### ***Capacitación y Desarrollo de Habilidades***

La capacitación y el desarrollo de habilidades en la era de la Industria 4.0 también se ven influenciados por la IA. Los sistemas de IA pueden personalizar los programas de capacitación basándose en las habilidades y necesidades de aprendizaje de cada trabajador, lo que resulta en una fuerza laboral más competente y preparada para los desafíos de un entorno de trabajo tecnológicamente avanzado [12].

Además, la IA puede simular entornos de trabajo para la formación en seguridad y ergonomía, proporcionando experiencias de aprendizaje inmersivas y efectivas [13].

### ***Ergonomía Participativa y IA***

La ergonomía participativa implica la inclusión activa de los trabajadores en el diseño y la mejora de sus propios entornos de trabajo. La

IA puede facilitar este proceso al proporcionar una plataforma para recopilar y analizar las opiniones de los empleados, lo que permite a los gerentes tomar decisiones informadas y centradas en el trabajador [14].

Esta colaboración entre IA y ergonomía participativa puede conducir a una mayor satisfacción laboral y a una mayor aceptación de los cambios en el lugar de trabajo [15].

### ***Desafíos y Consideraciones Éticas***

A pesar de los beneficios, la implementación de la IA en la ergonomía ocupacional no está exenta de desafíos. Las consideraciones éticas, como la privacidad de los datos y la autonomía del trabajador, deben ser abordadas cuidadosamente [16].

Además, existe el riesgo de que la dependencia de la IA pueda llevar a una deshumanización del lugar de trabajo si no se gestiona adecuadamente [17].

Por lo tanto, es crucial que las empresas adopten un enfoque equilibrado que ponga a las personas en el centro de la integración de la IA en la ergonomía ocupacional [18].

### ***Convergencia hacia un Futuro Sostenible***

La convergencia de la IA y la ergonomía ocupacional también juega un papel vital en la promoción de la sostenibilidad en la Industria 4.0. Al optimizar los procesos y mejorar las condiciones de trabajo, las empresas pueden reducir el desperdicio y aumentar la eficiencia energética, contribuyendo así a los objetivos de sostenibilidad global [19].

Además, la IA puede ayudar a predecir y gestionar los impactos ambientales de las operaciones industriales, asegurando que la ergonomía ocupacional no solo beneficie a los

trabajadores sino también al medio ambiente [20].

Por lo tanto, la relación entre la IA y la ergonomía ocupacional en la Industria 4.0 es multifacética y prometedora. La coincidencia de objetivos entre ambas disciplinas sugiere un impacto significativo en la forma en que las industrias operarán en el futuro, poniendo énfasis en la eficiencia, la salud y la sostenibilidad. La colaboración entre humanos y máquinas inteligentes está redefiniendo los espacios de trabajo, y la ergonomía ocupacional está en el corazón de esta transformación, asegurando que la tecnología avance en armonía con las necesidades humanas.

## **RESULTADOS**

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en la ergonomía ocupacional dentro de la Industria 4.0 ha demostrado ser un campo fértil para la innovación y la mejora continua. Los resultados de la síntesis de la literatura científica actual revelan varios puntos emergentes clave que destacan la importancia de esta integración.

La Tabla 2 resume los hallazgos clave y muestra cómo la aplicación de la IA en la ergonomía ocupacional puede conducir a mejoras tangibles en la salud y seguridad de los trabajadores, así como en la eficiencia y sostenibilidad de la producción. Los estudios revisados indican que la IA no solo puede prevenir lesiones y mejorar la calidad de vida en el trabajo, sino que también puede llevar a una mayor eficiencia operativa y a una reducción de los costos asociados con los accidentes laborales y las enfermedades profesionales.

**Tabla 2. Matriz de resultados clave.**

IA en Ergonomía Ocupacional	Impacto	Estudios Relevantes	Resultados Principales
Toma de decisiones	Facilitación de decisiones estratégicas	[1], [5], [8], [12]	Mejora en la toma de decisiones basada en datos para la gestión y operaciones
Capacitación laboral	Actualización de habilidades laborales	[1], [7], [9], [13]	Desarrollo de programas de formación para nuevas tecnologías y procesos
Diseño ergonómico	Integración de la ergonomía en el diseño de sistemas	[2], [15], [17], [19]	Creación de entornos de trabajo adaptados a las necesidades humanas
Transición tecnológica	Adaptación a la Industria 4.0	[2], [3], [18], [20]	Identificación de retos y oportunidades en la adopción de nuevas tecnologías
Optimización de procesos	Mejora en la eficiencia y reducción de errores	[4], [6], [10]	Incremento de la eficiencia productiva y disminución de errores operativos
Colaboración interdisciplinaria	Mejora en la implementación de sistemas	[11], [14], [16]	Fomento de la sinergia entre distintas áreas de especialización para una transición efectiva
Sostenibilidad y eficiencia energética	Reducción de desperdicio y mejora en la sostenibilidad	[19], [20]	Contribución a los objetivos de sostenibilidad global

**Fuente: Elaboración propia.**

Además, la colaboración entre humanos y máquinas inteligentes está redefiniendo los roles en el lugar de trabajo, permitiendo que los trabajadores se centren en tareas más estratégicas y creativas, mientras que las máquinas asumen las tareas repetitivas o peligrosas. La capacitación personalizada impulsada por la IA está preparando a la fuerza laboral para estos nuevos roles, asegurando que los trabajadores no solo sean más eficientes sino también más satisfechos y comprometidos con su trabajo.

La ergonomía participativa, potenciada por la IA, está promoviendo un cambio cultural en el que los trabajadores tienen una voz más fuerte en la configuración de sus entornos laborales. Esto no solo mejora la ergonomía, sino que también fomenta un sentido de propiedad y compromiso con las mejoras implementadas.

Finalmente, la convergencia de la IA y la ergonomía ocupacional está alineada con los objetivos de sostenibilidad, ya que las operaciones más eficientes y los entornos de trabajo más saludables contribuyen a un menor impacto ambiental y a una mayor sostenibilidad a largo plazo.

Estos resultados subrayan la importancia de la integración de la IA en la ergonomía ocupacional y su relación con el objetivo de esta divulgación: informar sobre los avances actuales y fomentar la adopción de estas tecnologías para un futuro de trabajo más seguro, eficiente y sostenible.

## CONCLUSIONES

La evidencia recopilada y sintetizada de múltiples estudios confirma que la IA puede amplificar significativamente la capacidad de las organizaciones para crear entornos de trabajo más seguros, eficientes y humanos. La IA no solo optimiza los procesos ergonómicos, sino que también facilita una participación más activa y significativa de los trabajadores en la mejora de sus propios entornos laborales.

Los resultados destacan cómo la IA, aplicada con consideración y en colaboración con principios ergonómicos, puede llevar a una disminución de lesiones laborales, una personalización efectiva de la formación y el desarrollo de habilidades, y una mejora en la calidad de vida en el lugar de trabajo. Además, la integración de estas tecnologías avanza hacia un modelo de producción sostenible, alineado con los objetivos globales de sostenibilidad.

Este artículo ha buscado mostrar el camino hacia un futuro donde la tecnología y la humanidad avanzan juntas, demostrando que la IA, lejos de desplazar el trabajo operativo manual, la potencia y la complementa,

asegurando que la revolución industrial en curso sea inclusiva y beneficiosa para todos los actores involucrados.

### Agradecimientos

El primer autor agradece al CONAHCyT por la beca de estudios #687862 otorgada de agosto 2023 a octubre 2027, para realizar los estudios de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el ITS de Misantla.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cacciabue, P. C. (2008). Role and challenges of ergonomics in modern societal contexts. *Ergonomics*, 51(1), 42-48. <https://doi.org/10.1080/00140130701800878>
- [2] Gášová, M., Gašo, M., & Štefánik, A. (2017). Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept. *Procedia Engineering*, 192, 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.038>
- [3] Lee, S., Liu, L., Radwin, R. y Li, J. (2021). Machine Learning in Manufacturing Ergonomics: Recent Advances, Challenges, and Opportunities. *IEEE Robotics and Automation Letters*. <https://doi.org/10.1109/LRA.2021.3084881>
- [4] M. Javaid et al., "AI technology is critical for the successful implementation of Industry 4.0," 2021.
- [5] M. C. Duman and B. Akdemir, "Industry 4.0 technology components positively affect organizational performance," 2021.
- [6] R. S. Peres et al., "The findings are expected to assist and empower researchers and manufacturers in Industry 4.0," 2020.
- [7] I. Gashenko et al., "New research direction on the competition between human and artificial intellectual capital in Industry 4.0," 2020.
- [8] J. Wan et al., "The application of AI in smart factories has accelerated Industry 4.0," 2018.
- [9] R. Cioffi et al., "Increasing interest in the application of AI and machine learning in industry after Industry 4.0," 2020.
- [10] H. Yan et al., "The concept and algorithm combining industrial scenarios and advanced AI for Industry 4.0," 2018.
- [11] E. E. Broday, "The 'Operator 4.0' as a valuable resource to integrate Ergonomics and Industry 4.0," 2020.
- [12] B. Kadir et al., "Need for empirical evidence and collaboration between Industry 4.0, human factors, and ergonomics," 2019.
- [13] B. Kadir and O. Broberg, "Guidelines for dealing with challenges in the transition to Industry 4.0," 2020.
- [14] B. Kadir and O. Broberg, "Framework for (re)designing industrial work systems in Industry 4.0," 2020.
- [15] A. G. Frank et al., "Systemic adoption of front-end technologies in Smart Manufacturing," 2019.
- [16] H. Yüksel, "Companies with highly technological products and Industry 4.0 applications," 2020.
- [17] R. Miśkiewicz and R. Wolniak, "Increased efficiency in a steel company through Industry 4.0," 2020.
- [18] C. O. Klingenberg et al., "Approaching Industry 4.0 by looking at data value creation," 2019.
- [19] S. Saniuk et al., "Industry 4.0 concept requires new knowledge and skills from employees," 2021.
- [20] J. W. Strandhagen et al., "Applicability of Industry 4.0 in manufacturing logistics," 2017.

## Evaluación de la eficiencia en la atención al cliente de un sistema de reparación de dispositivos móviles a través de técnicas de simulación

<sup>1</sup> MII. Giovanni Luna Chontal  
glunac@itsm.edu.mx

<sup>2</sup> MII. Carlos Ángel Vicente Rodríguez  
cavicenter@itsm.edu.mx

<sup>3</sup> MII. Gabriel Grosskelwing Núñez  
ggrosskelwingn@itsm.edu.mx

Contacto:  
glunac@itsm.edu.mx  
2211934694

### Optimización de Procesos

<sup>1</sup>Giovanni Luna Chontal, Maestro en Ingeniería Industrial, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

<sup>2</sup>Carlos Ángel Vicente Rodríguez, Maestro en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla

<sup>3</sup>Gabriel Grosskelwing Núñez. Maestro en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

**RESUMEN:** *En este artículo de investigación se abordó la evaluación del desempeño de un sistema de atención al cliente utilizando la simulación como herramienta principal. La metodología incluyó la formulación del problema, la recolección de datos, la definición del modelo, la verificación del modelo conceptual, la construcción del programa de computadora, corridas piloto, validación y modelación de escenarios. Se demostró que la adición de un técnico adicional en el proceso de atención al cliente mejoró significativamente la eficiencia, reduciendo los tiempos de espera en un 50% y aumentando la satisfacción del cliente. Los resultados fueron respaldados por pruebas estadísticas y validaciones, lo que confirma la utilidad de la simulación como una herramienta efectiva para la toma de*

*decisiones en la gestión de servicios al cliente. Se concluye que las mejoras propuestas, junto con recomendaciones para optimizar el flujo de trabajo basado en técnicas de simulación, pueden ayudar a las empresas a ofrecer un servicio más eficiente y satisfactorio a sus clientes.*

**PALABRAS CLAVE:** *Atención al cliente, eficiencia, pruebas estadísticas, simulación, tiempos de atención.*

**ABSTRACT:** *In this research article, we tackled the evaluation of the performance of a customer service system using simulation as the primary tool. The methodology included problem formulation, data collection, model definition, conceptual model*

***verification, computer program construction, pilot runs, validation, and scenario modeling. It was demonstrated that the addition of an extra technician in the customer service process significantly improved efficiency, reducing wait times by 50% and increasing customer satisfaction. The results were supported by statistical tests and validations, confirming the usefulness of simulation as an effective tool for decision-making in customer service management. It is concluded that the proposed improvements, along with recommendations to optimize workflow based on simulation techniques, can help companies provide more efficient and satisfactory service to their customers.***

**KEYWORDS:** *Customer service, efficiency, statistical tests, simulation, response times*

## INTRODUCCIÓN

La simulación, como lo define Kelton, es el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con el propósito de conducir experimentos numéricos para comprender el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones [1]. En los últimos años, las técnicas de simulación han madurado y su aplicación se ha extendido a diversas áreas [2]. La construcción de modelos de funcionamiento de organizaciones ha convertido a la simulación en una herramienta poderosa para la generación de conocimiento, la anticipación de consecuencias y la toma de decisiones informadas [3].

En este contexto, la presente investigación se enfoca en la microempresa servicios, ubicada en Misantla, Veracruz, la cual se dedica a brindar servicios de reparación para dispositivos móviles y computadoras. El

objetivo principal de este proyecto es mejorar la eficiencia en la atención al cliente.

El problema central radica en las demoras experimentadas por los técnicos al atender a los clientes, lo que ha resultado en la disminución de la cantidad de clientes atendidos diariamente debido a los largos tiempos de espera, a menudo provocando que los usuarios opten por retirarse.

Para abordar este desafío, se han considerado estrategias como el aumento de la mano de obra y la expansión de las horas de servicio.

Sin embargo, la simulación se ha destacado como una herramienta esencial para la experimentación y la evaluación de diversos escenarios, incluyendo las estrategias mencionadas, con el objetivo de aumentar la productividad y mejorar la calidad del servicio.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología.

La presente investigación se clasifica como no experimental, del tipo transversal, descriptiva y propositiva. La muestra de estudio incluye el número de clientes que visitan el establecimiento, los tiempos de atención y los clientes que son atendidos.

La metodología se basa en la implementación de los 10 pasos del modelo de simulación [4], que se describen a continuación:

1. **Formulación del problema y el plan de estudio:** En esta etapa, se definió el problema relacionado con la eficiencia en la atención al cliente en el centro de reparación de dispositivos móviles y se elaboró un plan de estudio.
2. **Recolección de la información requerida y definición del modelo:** Se recopilaron los datos necesarios y se definió el modelo de simulación,

- identificando las variables clave involucradas.
3. **Verificación del modelo conceptual:** Se realizó una verificación del modelo conceptual para garantizar su coherencia y precisión.
  4. **Construcción del programa de computadora y verificación:** Se desarrolló un programa de computadora que refleja el modelo conceptual, y se verificó su correcta implementación.
  5. **Realización de corridas piloto:** Se llevaron a cabo corridas piloto para probar el modelo y corregir posibles errores.
  6. **Validación del programa de computadora:** Se validó el programa de computadora mediante comparaciones con datos reales y observaciones del sistema real.
  7. **Diseño de experimentos de simulación:** Se diseñaron experimentos de simulación para evaluar diferentes escenarios y estrategias de mejora.
  8. **Corridas del modelo computacional:** Se ejecutaron corridas del modelo computacional utilizando los experimentos diseñados.
  9. **Propuesta y análisis de resultados:** Los resultados obtenidos de la simulación se analizaron para proponer mejoras en la eficiencia de la atención al cliente.
  10. **Documentación e implementación de resultados:** Finalmente, se documentaron los resultados y se propusieron medidas concretas para su implementación en el centro de reparación.

## RESULTADOS

### 1.1. Formulación del problema y el plan de estudio

La calidad del servicio al cliente es una prioridad esencial para las organizaciones, ya que influye significativamente en la satisfacción del cliente y en la percepción del valor de su adquisición. Las empresas se esfuerzan por brindar a sus clientes un servicio que sea coherente con el valor invertido en sus productos o servicios.

Sin embargo, diversos factores pueden afectar la prestación eficiente del servicio al cliente, lo que requiere una revisión exhaustiva para identificar oportunidades de mejora. En este contexto, este proyecto se centra en uno de los factores críticos que influyen en el resultado deseado: la empresa ha identificado que una de sus principales deficiencias se encuentra en el tiempo de atención al cliente. La demora de los técnicos al atender a los clientes ha llevado a largos tiempos de espera, y en ocasiones, los clientes optan por retirarse debido a esta situación. Esta demora se debe en parte a que una sola persona es responsable de revisar los dispositivos y atender a los usuarios.

Además, la falta de un diseño eficiente en el lugar de trabajo y de herramientas adecuadas también contribuye a estos problemas. El objetivo principal de este proyecto es reducir los tiempos de atención a los clientes que visitan el establecimiento y aumentar la cantidad de clientes atendidos diariamente. Para lograrlo, se ha propuesto la utilización de un simulador en 3D, que permitirá obtener resultados sin necesidad de realizar implementaciones físicas.

### 1.2. Recolección de la información requerida y definición del modelo

En esta etapa, se establecieron las medidas de desempeño que se evaluarán en el modelo computacional. Las medidas de desempeño seleccionadas son las siguientes:

- Número de clientes atendidos diariamente.

- Tiempos de atención.

Para llevar a cabo esta etapa, se realizaron las siguientes actividades:

1. **Identificación de la información requerida:** A partir del análisis inicial del proceso, se elaboró una lista de los datos necesarios para la simulación, que incluye lo siguiente: a) Registro de la llegada de los clientes. b) Registro de los tiempos de procesamiento. c) Registro de la hora de inicio de cada una de las actividades a lo largo del sistema.
2. **Recolección de datos:** Se creó una tabla (consultar Tabla 1) para documentar la información requerida. Para obtener estos datos, se realizó un muestreo durante un mes completo en el horario de mayor demanda, que va desde las 10:00 hasta las 14:00 horas, visitando el establecimiento.

**Tabla 1: Formato para la recolección de datos**

Horario de atención				Días de atención:		
Número de clientes día	de por	Hora de llegada	Tiempo entre llegadas	Hora de atención (Inicio)	Hora de atención (Fin )	Tiempo de atención (Seg)
1						
2						
3						
4						

Fuente: Elaboración propia

Para complementar esta información, se generó un Layout del establecimiento que representa la disposición y organización de las diferentes áreas (ver Figura 1).

### 1.2.1. Análisis del tiempo de atención

En esta sección, se llevó a cabo un análisis detallado del tiempo de atención a partir de los datos recopilados. El objetivo principal fue

identificar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a estos datos.

**Figura 1. Modelo conceptual**



Fuente: Elaboración propia

Para este propósito, se aplicaron pruebas de bondad de ajuste con el fin de determinar la distribución más adecuada. Entre las diferentes pruebas disponibles, se utilizó principalmente la prueba de Anderson-Darling debido a su mayor poder estadístico en comparación con otras pruebas, especialmente en el caso de datos continuos. como ejemplo: para los tiempos entre llegadas se obtuvo que la distribución a la que mejor se ajustan, es a la distribución Weibull (ver Tabla 2).

**Tabla 2. Evaluación del modelo tiempo entre llegadas.**

Model	Relative Score	Parameters
1 - Weibull(E)	94.05	Location 9.54274
		Scale 910.17504
		Shape 1.27287
2 - Beta	89.29	Lower endpoint 14.14637
		Upper endpoint 7,544.33803
		Shape #1 1.32676
		Shape #2 10.53930
3 - Weibull	88.10	Location 0.00000
		Scale 924.51535
		Shape 1.29603

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis planteadas para la prueba de Anderson-Darling son las siguientes:

- H0: Los datos siguen una distribución Weibull.
- H1: Los datos no siguen una distribución Weibull.

Los resultados obtenidos de la prueba de Anderson-Darling (ver Tabla 3) indican que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que los datos del tiempo de atención se ajustan satisfactoriamente a la distribución Weibull.

**Tabla 3. Pruebas de bondad de ajuste para los tiempos entre llegadas.**

Anderson-Darling Test with Model 1 - Weibull(E)

Sample size 151  
Test statistic 0.55297

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
151	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.3. Análisis del tiempo de atención

Para el análisis de los tiempos de atención, se evaluó su distribución y se encontró que se ajustan de manera muy similar a la distribución Beta, como se muestra en la Tabla 4 de la evaluación del modelo.

**Tabla 4. Evaluación del modelo tiempos de atención.**

Model	Relative Score	Parameters
1 - Beta	95.65	Lower endpoint 28.29275
		Upper endpoint 3.507.79813
		Shape #1 1.34605
		Shape #2 4.98073
2 - Johnson SB	94.57	Lower endpoint 0.11505
		Upper endpoint 2.693.99161
		Shape #1 0.99438
		Shape #2 0.86351
3 - Weibull(E)	89.13	Location 10.03055
		Scale 836.61961
		Shape 1.44770

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, con las siguientes hipótesis:

- H0: Los datos siguen una distribución Beta.
- H1: Los datos no siguen una distribución Beta.

Los resultados de la prueba de Anderson-Darling (ver Tabla 5) indican que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que los datos de los tiempos de atención se comportan de manera muy similar a una distribución Beta.

**Tabla 5. Pruebas de bondad de ajuste para los tiempos de atención.**

Anderson-Darling Test with Model 1 - Beta

Sample size 161  
Test statistic 0.52051

Note: No critical values exist for this special case. The following critical values are for the case where all parameters are known, and are conservative.

Sample Size	Critical Values for Level of Significance (alpha)					
	0.250	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
161	1.248	1.933	2.492	3.070	3.857	4.500
Reject?	No					

Fuente: Elaboración propia

### 1.3. Verificación del modelo conceptual

La verificación del modelo conceptual se llevó a cabo para confirmar que las suposiciones empleadas en la construcción del modelo fueran correctas y representativas. En este proceso, se contó con la colaboración del dueño y los operadores del establecimiento, quienes participaron activamente en la validación. Durante la verificación, se revisaron las etapas descritas del proceso de atención al cliente y del proceso de reparación de los dispositivos. El propósito era asegurarse de que la representación del proceso en el modelo coincidiera con la realidad.

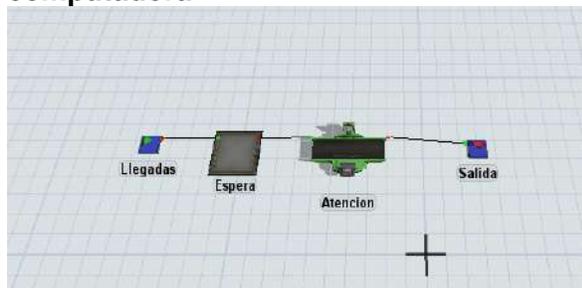
La colaboración del personal permitió corroborar que el enfoque y el proceso utilizado para el desarrollo del modelo computacional

eran apropiados y reflejaban con precisión las operaciones reales del establecimiento.

#### 1.4. Construcción del programa de computadora y verificación

En esta etapa, se llevó a cabo la construcción del modelo de simulación, que reproduce el comportamiento del sistema bajo estudio. La creación del modelo se realizó con el objetivo de representar con precisión las operaciones del sistema real. Para lograrlo, se incorporaron los elementos esenciales necesarios para modelar cada una de las actividades realizadas en el sistema en cuestión. Estos elementos incluyeron entidades, locaciones, distribuciones utilizadas en cada una de las locaciones, entre otros (ver Figura 2).

**Figura 2. Diseño del modelo en computadora**



**Fuente: Elaboración propia**

Una vez que se obtuvo el modelo computacional utilizando el software de simulación, se procedió a verificar su precisión y funcionalidad. Durante esta verificación, se aseguró que el modelo reflejara de manera fiel los eventos, la lógica del sistema real y los parámetros a analizar. Además, se llevaron a cabo pruebas para detectar y corregir cualquier error lógico de programación que pudiera haberse generado durante la creación del modelo, garantizando así que el proceso de atención simulado se asemejara lo más posible al proceso del sistema real.

La verificación se llevó a cabo utilizando la consola de eventos del software de simulación. Esta herramienta mostró cada uno de los eventos que ocurrieron en el modelo computacional a lo largo de la simulación, desde la llegada de los clientes hasta la finalización del servicio.

#### 1.5. Realización de corridas piloto

Una vez completada la construcción del modelo y corregidos los errores lógicos, se procedió a realizar las corridas piloto, siguiendo el enfoque sugerido por Law (2007) y Chung (2004). Se llevaron a cabo un total de 10 corridas piloto.

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos en las 10 corridas piloto para la medida de desempeño "número de clientes atendidos diariamente".

**Tabla 6. Resultado del número de personas atendidas por corrida del modelo.**

Scenario	Replication	Object	Input	Output
1	1	Atencion	15	14
1	2	Atencion	18	17
1	3	Atencion	16	16
1	4	Atencion	15	14
1	5	Atencion	15	14
1	6	Atencion	11	10
1	7	Atencion	18	17
1	8	Atencion	15	14
1	9	Atencion	16	15
1	10	Atencion	17	16

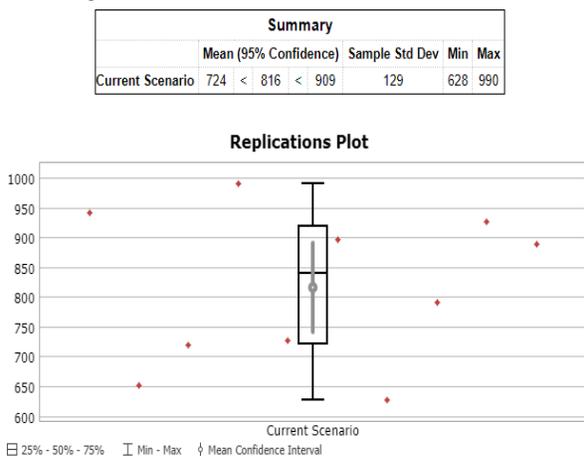
**Fuente: Elaboración propia**

En cuanto a la medida de desempeño "tiempos de atención", el software de simulación proporcionó los siguientes resultados:

- Tiempo máximo de atención: 990 segundos.
- Tiempo mínimo de atención: 628 segundos.
- Tiempo promedio de atención: 816 segundos, con un nivel de confianza del 95% (ver Tabla 7).

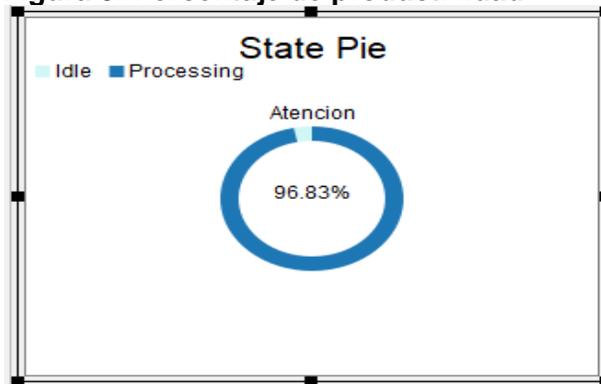
Adicionalmente, se observó en la Figura 3 que el porcentaje productivo de la atención es del 96.83%, mientras que el porcentaje de tiempo de ocio es del 3.14%.

**Tabla 7. Resultado de la corrida en número de tiempos de atención.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3. Porcentaje de productividad**



Fuente: Elaboración propia

Basándonos en estos resultados, se puede concluir que el modelo computacional proporciona resultados consistentes con el sistema real.

### 1.6. Validación del programa de computadora

La validación del modelo de simulación es un paso crítico para determinar si este modelo representa de manera precisa el sistema real objeto de estudio.

En este proceso, se empleó la prueba t pareada para comparar los datos generados por el modelo de simulación (modelo computacional) con los datos obtenidos del sistema real. El objetivo era analizar las diferencias entre estos resultados y determinar si el modelo es una representación fidedigna del sistema real.

Se realizaron pruebas t pareadas para las dos medidas de desempeño (ver Tablas 8 y 9), utilizando los resultados de las 10 corridas piloto. La hipótesis nula establecida fue la siguiente: "La productividad observada en el modelo computacional es igual a la productividad obtenida en el sistema real" [5].

**Tabla 8. Prueba T pareada número de clientes que arriban al establecimiento.**

Ejemplar de prueba	$x_i$	$y_i$	Diferencias
1	17	18	-1
2	11	19	-8
3	16	13	3
4	15	18	-3
5	17	12	5
6	18	17	1
7	14	18	-4
8	18	14	4
9	18	14	4
10	17	11	6

n =	10	10	10
Promedio	16.1	15.4	0.7
Desv	2.234	2.914	4.572

$H_0 :$	$\bar{d} = 0$
$H_1 :$	$\bar{d} \neq 0$
$\alpha =$	5%
$t_\alpha =$	2.262
$t_{1-(\alpha/2), n-1}$	-2.262
$t_{(\alpha/2), n-1}$	2.262
T =	0.48

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9. Prueba T pareada tiempos de atención.**

Ejemplar de prueba	$x_i$	$y_i$	Diferencias
1	706	659.95	46.05
2	1031	712.01	318.99
3	862	706.67	155.33
4	936	749.95	186.05
5	759	642.69	116.31
6	640	766.62	-126.62
7	939	598.68	340.32
8	603	731.76	-128.76
9	657	744.85	-87.85
10	724	631.6	92.4

$n =$	10	10	10
Promedio	785.7	694.478	91.222
Desv	146.867	57.417	169.186

$H_0 :$	$\bar{d} = 0$
$H_1 :$	$\bar{d} \neq 0$
$\alpha =$	5%
$t_{\alpha} =$	2.262
$(t_{1-(\alpha/2), n-1} , t_{(\alpha/2), n-1})$	(-2.262 , 2.262)
$T =$	1.71

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de estas pruebas demostraron consistentemente que no existe evidencia significativa para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, se concluye que la productividad observada en el modelo computacional es igual a la productividad obtenida en el sistema real.

### 1.7. Diseño de experimentos

Las 10 corridas piloto desempeñaron un papel fundamental en esta investigación por dos razones principales:

1. Obtener los estadísticos: media y varianza de cada una de las medidas de desempeño.
2. Calcular el número óptimo de corridas a realizar.

A través del análisis de las pruebas  $n^*\beta$ , se evaluó la necesidad de realizar un mayor número de corridas. Para la medida de desempeño "número de clientes atendidos", los resultados indicaron que no era necesario realizar más de 10 corridas, ya que se cumplía con el error máximo establecido.

En cambio, para la medida de desempeño "tiempos de atención", se determinó que se debían llevar a cabo 35 corridas para cumplir con el error máximo establecido (ver Tablas 10 y 11). Esto implicó la realización de 25 corridas adicionales para completar el total de 35 corridas requeridas.

Tabla 10. Prueba  $n^* \beta$  número de clientes que arriban al establecimiento

Replicaciones	Número de Clientes atendidos
1	17
2	11
3	16
4	15
5	17
6	18
7	14
8	18
9	18
10	17

Promedio =	16.1
Varianza =	4.9889
Desviación =	2.2336

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Prueba  $n^* \beta$  tiempos de atención.

Replicaciones	Tiempos de atención
1	659.95
2	712.01
3	706.67
4	749.95
5	642.69
6	766.6
7	598.68
8	731.76
9	744.85
10	631.6

Promedio =	694.5
Varianza =	3296.3452
Desviación =	57.4138

Fuente: Elaboración propia

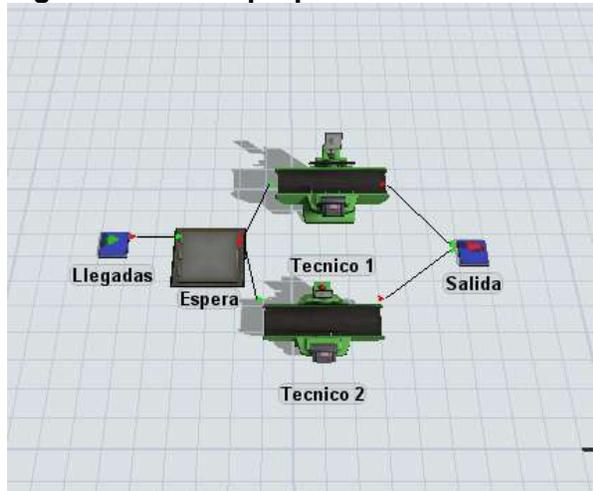
### 1.8. Corridas del Modelo computacional.

Ahora, se realizarán 25 corridas adicionales del modelo computacional para alcanzar el error establecido en ambas medidas de desempeño.

### 1.9. Propuesta y análisis de los resultados

En esta fase de la metodología de simulación, se procede a medir y analizar el comportamiento del sistema con las alternativas o propuestas de mejora. Se ha realizado una modificación en el modelo computacional incorporando los cambios propuestos con la finalidad de agilizar el servicio (ver Figura 4), el cambio principal es la adición de un operador.

Figura 4. Modelo propuesto



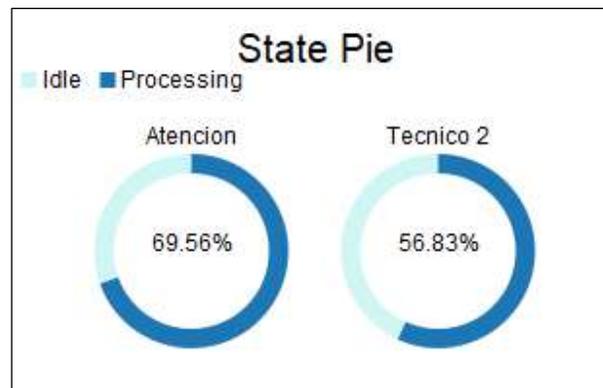
**Fuente: Elaboración propia**

La principal expectativa de esta propuesta es la reducción de los tiempos de espera, lo que conllevaría a un sistema más eficiente y menos congestión durante la espera o la recepción del servicio.

Después de implementar los cambios y ejecutar el modelo computacional las 35 veces (número de corridas óptimo), se procede al análisis de los resultados obtenidos con la propuesta. El análisis estadístico de los resultados permite realizar inferencias sobre los posibles valores de las medidas de desempeño.

En la Figura 6, se observa que el porcentaje productivo para la atención y el servicio técnico es del 69.56% y el 56.83% respectivamente, lo que representa una mejora en el cumplimiento de los pedidos dentro del plazo acordado con los clientes y la satisfacción de la demanda.

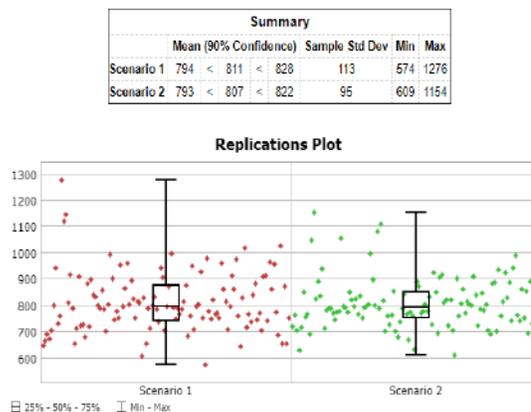
Figura 6. Rendimiento del modelo



**Fuente: Elaboración propia**

Por otro lado, en la Figura 7 se muestra que al agregar otro operador, el número de clientes atendidos aumenta significativamente, lo que contribuye a una mayor satisfacción del cliente. Es importante destacar que a pesar de que la nueva propuesta presenta un mayor porcentaje de tiempo de ocio, esto no afecta negativamente, ya que se pueden incorporar otras actividades adicionales para el personal y ofrecer nuevos servicios dentro del mismo establecimiento a los clientes.

Figura 7. Rendimiento del modelo



**Fuente: Elaboración propia**

## CONCLUSIONES

Al concluir este proyecto, los propietarios del sistema contarán con una valiosa herramienta

que les permitirá proyectar distintos escenarios de simulación a lo largo del tiempo. Esto les brindará la capacidad de tomar decisiones fundamentadas, respaldadas por resultados de análisis estadístico, basados en un modelo de simulación [8], [9].

El modelo de simulación desarrollado ha demostrado ser efectivo para evaluar el desempeño del proceso de atención a clientes [10]. En el caso estudiado, se confirmó la fiabilidad del sistema, con porcentajes de productividad del 69.56% y el 56.83% para el técnico 1 y el técnico 2, respectivamente.

Por otra parte, se ha identificado que la implementación de un técnico adicional conlleva a costos adicionales, pero estos costos se justificarían con el aumento en el número de clientes atendidos debido a la reducción del tiempo de espera. En última instancia, esta medida podría resultar en mayores ganancias.

Es importante destacar que, si bien los resultados obtenidos al agregar otro operador pueden no coincidir exactamente con los resultados del modelo computacional, estas diferencias se mantendrán dentro del margen de error máximo permitido para cada medida de desempeño.

Finalmente, se recomiendan acciones específicas para mejorar el servicio, que forman parte de una estrategia integral:

1. Eliminar maniobras innecesarias por parte de los técnicos mediante la reorganización del área de trabajo para tener todo el equipo al alcance de los técnicos.
2. Reubicar las herramientas y asignar un estante para las herramientas esenciales utilizadas en el mantenimiento de los dispositivos.
3. Mantener un orden y limpieza en el área de trabajo mediante la implementación

de las 5'S (seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke).

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Medina León, A. Medina Palomera, and Á. González Ángeles, "Reducir tiempos de espera de pacientes en el departamento de emergencias de un hospital utilizando simulación," *Ind. Data*, vol. 13, no. 1, pp. 67–76, 2010, [Online]. Available: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6170>.
- [2] A. Merino, L. F. Acebes, R. Mazaeda, and D. P. C., "Modelado y Simulación del Proceso de Producción del Azúcar," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 6, no. 3, pp. 21–31, 2009, doi: 10.1016/S1697-7912(09)70261-4.
- [3] E. G. H. Ruiz, F. de J. Martínez Álvarez, and M. A. G. Sergio, "SIMULACIÓN: CONCEPTOS Y EVOLUCIÓN," México, 2018.
- [4] A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling y Analysis*, (Ed.); 4th., vol. 1. 2007.
- [5] Y. Ma and X. Song, "A Simulation Perspective: Error Analysis in the Distributed Simulation of Continuous System," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2015, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1155/2015/461513.
- [6] I. Simón Marmolejo, R. Granillo Macías, and F. Santana Robles, "Vista de Etapas de un modelos de simulación y la modelación con FlexSim | Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún," 2013. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/sahagun/article/view/1358/4640> (accessed Feb. 01, 2022).

[7] M. Alberto, P. Doménico, P. Cristina, P. Amaya, R. N. Armendáriz, and R. R. López, "Mejoramiento de tiempos de servicio a usuarios de laboratorios de una institución de educación superior," *Cult. Científica y Tecnológica*, vol. 0, no. 59, 2016.

[8] H. Hoe, K. Muthusamy, y K. Harikrishnan, "A statistical analysis using simulation on a lean manufacturing model," en *2010 International Conference on Computer and Information Application*, Tianjin, China, 2010, pp. 374-377. doi: 10.1109/ICCIE.2010.5668349

[9] G. Dukic, D. Dukic, y M. Sesar, "Implementation of computer-aided statistical analysis in a simulation scheduling model," en *30th International Conference on Information Technology Interfaces*, Cavtat, Croatia, 2008, pp. 541-546. doi: 10.1109/ITI.2008.4588408

[10] J.A. Restrepo-Morales, E. A. Giraldo Betancur, y J. G. Vanegas López, "Customer Service Multichannel Model in a HCPS: A Discrete Simulation Case Study," *Innovar*, vol. 29, no. 72, Apr. 2019. doi: 10.15446/innovar.v29n72.77934.

## Evaluación de plata coloidal obtenida mediante electrogravimetría como agente microbicida

<sup>1</sup>Hilario García Rubí Nayely  
232t0450@itsm.edu.mx

<sup>2</sup>López Méndez María Cristina  
mclopezm@itsm.edu.mx

<sup>3</sup>Martínez Castellanos Gustavo  
gmartinezc@itsm.edu.mx

<sup>4</sup>Landa Aguirre Rigoberto  
172t0453@itsm.edum.mx

Temática: **Alimentos**

Rubí Nayely Hilario García<sup>1</sup>, Universitaria, Tecnológico Nacional de México/Campus Misantla

María Cristina López Méndez<sup>2</sup>, Doctora en Bioquímica, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México /Campus Misantla

Gustavo Martínez Castellanos<sup>3</sup>, Doctorado en Biotecnología, Departamento de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico Nacional de México /Campus Misantla

Rigoberto Landa Aguirre<sup>4</sup>, Universitario, Tecnológico Nacional de México/Campus Misantla

### RESUMEN

En la actualidad, se cuentan con diversos métodos para la obtención de nanopartículas de plata, donde los procesos influyen en aspectos como su tamaño, morfología, estabilidad y calidad. Estos métodos de producción se suelen clasificar en dos categorías: "técnicas descendentes" (Top-down) y "técnicas ascendentes" (Bottom-up) [5]. El enfoque de este trabajo se centra en la obtención de una solución de plata coloidal, reconocida por sus propiedades antimicrobianas y su aplicación en ámbitos biomédicos y desinfectantes alimentarios. El método empleado para sintetizar esta solución fue la

electrogravimetría, con ajustes en la metodología para lograr una solución con un efectivo potencial antimicrobiano.

Se utilizó una fuente de alimentación variable de corriente directa y un agitador magnético, junto con electrodos de Ag<sup>0</sup> de 99,999% de pureza y dimensiones de 95×4 mm. El medio dispersante empleado fue agua tridestilada. Para la electrodeposición se emplearon 30 voltios para la corriente directa durante 2 horas. Se introdujo un tensoactivo para estabilizar las partículas de plata, preparado mediante la disolución de grenetina comercial de grado alimenticio en agua. La muestra obtenida presentó un pH de 6.05, una conductividad eléctrica

de 108  $\mu\text{S}$ , 55 ppm (partes por millón) y una turbidez de 63 NTU. Por medio del espectrofotómetro de absorción UV-Vis se observó un máximo de absorbancia aproximada a los 430nm.

El efecto antimicrobiano mediante el método de difusión en discos se observó que la muestra obtenida presenta un poder antimicrobiano de un 75.87% en comparación de un microbicida comercial. Asimismo, se aplicó la metodología de utilizar *Lens culinaris* como bioindicador para estudiar el efecto genotóxico [2] inducido por las partículas de plata obtenidas observando notablemente la inhibición de la división celular inducida por las soluciones de plata.

## INTRODUCCIÓN

Durante miles de años, la plata coloidal se ha utilizado y conocido por su presencia en el entorno, incluyendo agua dulce y salada, suelos, rocas e incluso en ciertos lugares en el aire debido a la contaminación industrial. Desde hace más de un siglo, la producción de nanoplata ha estado en práctica debido a la presencia de plata en el ambiente [5].

Con el paso del tiempo, se han descubierto más beneficios de la plata coloidal, y en la actualidad se investiga y aplica en diversas áreas, tanto en la salud como en la industria.

A partir del siglo XVII, la plata coloidal se ha utilizado con fines medicinales variados, y a finales del siglo XIX, se empleó la solución de nitrato de plata en gotas oculares para tratar la conjuntivitis

causada por gonococo en recién nacidos [7]. La obtención de nanopartículas de plata fue informada por primera vez en 1889 por M. C. Lea, quien reportó la obtención de plata coloidal estabilizada con citrato, con un tamaño de partícula entre 7 y 9 nm. Posteriormente, en 1897, se comercializó un producto para aplicaciones terapéuticas en medicina llamado "Collargol", que contenía partículas de plata con un tamaño promedio de 10 nm. Sin embargo, no fue hasta 1920 que la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos aprobó la solución de plata iónica (electro coloidal) como agente antibacteriano. En 1953, Moudry patentó un producto de nanopartículas de plata estabilizadas en gelatina con un tamaño de 2 a 20 nm [5]

La plata coloidal es un compuesto de partículas cargadas eléctricamente suspendidas en agua destilada, con un tamaño de partícula que varía entre 1 y 1000 nm. En la plata coloidal comercial, los estabilizantes de las cargas más comúnmente utilizados han sido la albúmina y la gnetina vegetal [6].

En la actualidad, existen varios métodos para obtener nanopartículas de plata, donde los procesos determinan su tamaño, morfología, estabilidad y calidad.

En México, la plata coloidal se consume principalmente con albúmina o gnetina, en diversas presentaciones comerciales como Biopur, Microdyn, Silverdin y Cromin. Se recomienda como antiséptico

y bactericida para frutas, verduras e incluso agua [6].

En México se ha difundido información sobre métodos de preparación y consumo sin un respaldo científico adecuado, y además, existe escasa o nula regulación sobre el uso adecuado de esta sustancia [5].

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos varillas de plata de 0.95x0.4 mm con un 9.999% de pureza, agua tridestilada, grenetina comercial, una fuente de alimentación variable de corriente directa, dos cables banana-caimán y dos cables banana-banana, y un voltímetro. También se requirió un vaso de precipitado de 500 ml, un agitador magnético genérico con una barra de agitación magnética mediana, una probeta de 1000 ml, un soporte universal y una pinza para bureta.

#### Preparación del electrolito

Se adicionaron 500 mL de agua tridestilada y 0.5 g de grenetina a un vaso de precipitado, se calentó el agua en un termo agitador hasta obtener una mezcla homogénea.

#### Montaje del equipo

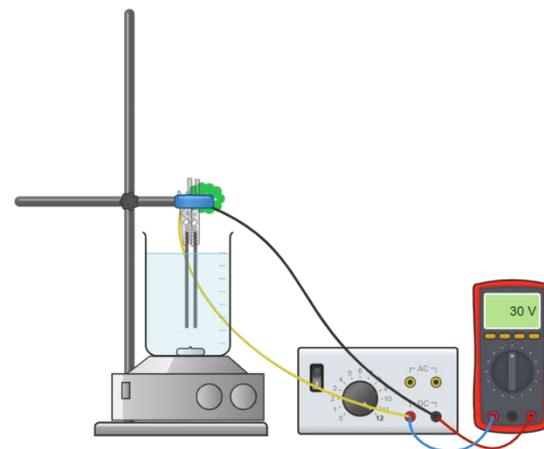
Se realizaron conexiones en paralelo para conectar la fuente de alimentación variable al voltímetro y a los electrodos de plata.

Una vez realizadas las conexiones se colocó una pinza para bureta en un soporte universal para sostener los electrodos con una separación de 1 cm [1], se ubicó el agitador magnético y sobre

él se colocó el vaso de precipitado con el electrolito preparado, posteriormente se sumergieron los electrodos de plata en el vaso dejando 1 cm en la superficie (figura 1).

Posterior a la instalación se procedió a encender el equipo instalado manteniendo un voltaje constante de 30 V en el periodo de 2 horas con una agitación media [1]. Al finalizar la electrodeposición la sustancia obtenida se filtró mediante un papel filtro y luego se almacenó en un recipiente oscuro.

Se analizaron los parámetros como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, turbidez y espectrofotometría de UV-Vis.



**Figura 1. Montaje del equipo. Fuente: Elaboración propia**

#### Observación en microscopio óptico de alta resolución

Se tomó una muestra de la plata coloidal obtenida y se observó en un microscopio óptico con objetivo 100X y aceite de inmersión.

### **Evaluación microbiológica de las soluciones obtenidas por el método de antibiograma**

Se llevó a cabo la metodología de Kirby-Bauer para evaluar la actividad antimicrobiana de la solución de plata coloidal obtenida utilizando como control Microdyn (plata coloidal comercial).

En primer lugar, se esterilizaron 16 cajas Petri, un asa acodada, un asa bacteriológica, matraz Erlenmeyer de 500 mL, probeta de 1000 mL y puntas de micropipeta. Una vez esterilizado el material se procedió a preparar el medio de cultivo, para ello se utilizaron 500 mL de agua destilada, 2 gramos de agar bacteriológico y 4 gramos de agar caldo nutritivo. Se vertió el agar en las cajas Petri bajo condiciones asépticas y se permitió que se solidificara.

Para la preparación del inóculo, se utilizó un asa bacteriológica para tomar una colonia de las cepas de *E. coli*, la cual se diluyó en 10 mL de solución salina. A partir de esta dilución, se tomó 1 mL y se diluyó en 9 ml de solución salina. Luego de la solidificación del agar en las cajas Petri, se tomó con una micropipeta 25  $\mu$ L, que se vertieron en una caja Petri. Con la ayuda de un asa acodada, se distribuyó el inóculo en cada una de las cajas Petri.

Una vez que el inóculo en las cajas Petri se secó, se colocaron los discos impregnados con las soluciones de plata coloidal. Las cajas Petri se incubaron durante 24 horas. Tras el período de incubación, se examinaron las cajas y se

midieron cuatro puntos entre el sensidisco y el halo de inhibición.

### **Evaluación genotóxica *in vitro* utilizando *lens culinari* como bioindicador.**

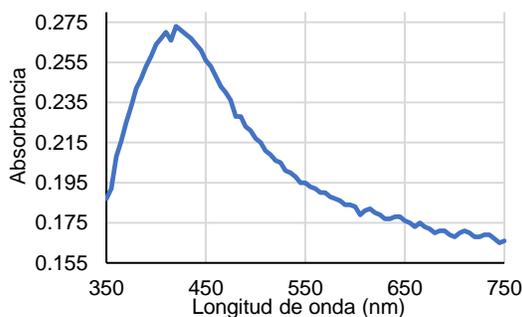
En primer lugar, se preparó el material biológico seleccionando cuidadosamente 30 semillas de *Lens culinaris*, marcándolas con lapicero y colocándolas en incubación durante 6 horas a temperatura ambiente [2]. Se utilizaron 10 semillas en agua tridestilada como control positivo y 10 en plata coloidal obtenida, además de 10 semillas en dilución de Microdyn (plata coloidal comercial) como control negativo.

Después de las 6 horas de inhibición, se colocaron en sus respectivas cajas Petri, a las cuales se les añadió un papel filtro para mantener hidratadas las semillas, agregando gotas de las soluciones correspondientes a cada muestra cada 8 horas. Después de 60 horas, se procedió a realizar la tinción de los meristemas con orceína acética al 2%. Para ello, se cortó entre 1-2 mm de la raíz y se sumergieron en un tubo de ensaye con 0.2 mL de orceína acética. Después de 3 min se calentó la solución de orceína acética con la radícula en un mechero hasta la ligera liberación de vapores, dejando enfriar sin permitir que la raíz se seque. Posteriormente, se colocó la raíz en un portaobjetos, se cubrió con un cubreobjetos y se realizaron frotis utilizando la técnica de "squash". Estos frotis se observaron en un microscopio óptico con objetivo 100X y aceite de inmersión. Se tomaron diferentes fotos para el posterior conteo de las cuatro

fases de la mitosis. Finalmente se cuantificó el porcentaje de células por cada fase de la mitosis (profase, metafase, anafase y telofase).

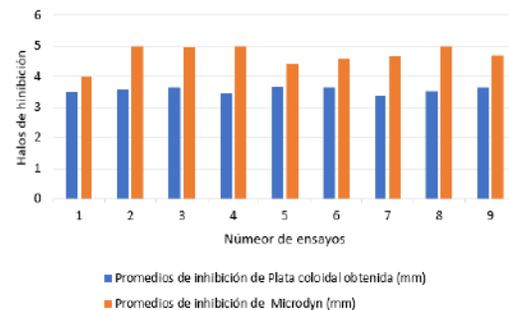
## RESULTADOS

Al observar en el microscopio de alta resolución se obtuvieron imágenes que sirvieron de comparación entre la solución comercial Microdyn y la plata coloidal obtenida en el experimento, donde se logró observar que en ambas hay presencias partículas derivadas del experimento de electrólisis. Mediante el espectrofotómetro de UV-Vis fué posible confirmar la presencia de partículas de plata en la solución obtenida, debido a que la absorbancia para coloides de plata se encuentra en el intervalo de 350.0 nm a 750.0 nm (este varía dependiendo de la dispersión, tamaño y morfología de partícula) [3]. Con la muestra analizada se obtuvo un máximo de absorbancia aproximada a los 430 nm (Grafica 1), demostrando por éste método la presencia de partículas de plata coloidal y el éxito de la obtención por electrogravimetría.



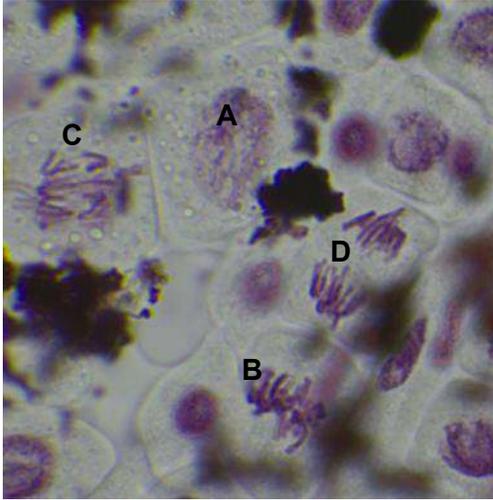
**Gráfica 1. Espectro de absorción de la solución obtenida en el experimento. Fuente: elaboración propia.**

El análisis por antibiograma permite observar la difusión del antibiótico o microbicida en el medio, inhibe el crecimiento bacteriano en un área alrededor del disco, formando una "zona de inhibición" que se mide para determinar la sensibilidad de la bacteria al microbicida [4]. En la gráfica 2 se puede observar la diferencia entre los promedios de los halos de inhibición obtenidos con la plata coloidal elaborada y el microdyn, logrando un 75.87% de efectividad de la plata coloidal realizada experimentalmente en comparación con un microbicida comercial ensayado.



**Gráfica 2. Comparación de los halos de inhibición de la plata coloidal obtenida experimentalmente y el microbicida comercial. Fuente: Elaboración propia.**

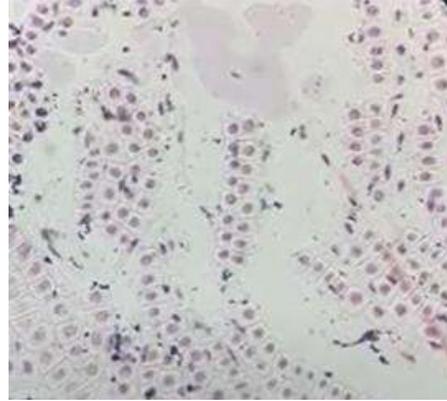
La figura 2, 3 y 4 son muestras representativas de los meristemas expuestos a plata coloidal con su respectivo grupo control.



**Figura 2.** Células en actividad mitótica expuestas en agua tridestilada (control positivo); a) Profase, b) Metafase, c) Anafase y d) Telofase. Fuente: Elaboración propia.

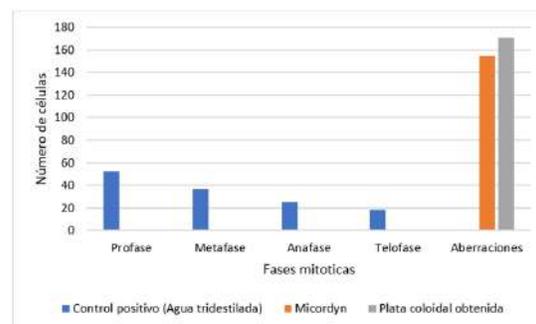


**Figura 3.** Células con aberraciones expuestas en microdyn (a) y plata coloidal elaborada (b). Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Ciclo celular inhibido por plata coloidal obtenida. Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación genotóxica *in vitro* se observó que el control positivo (agua tridestilada) mantuvo una actividad mitótica positiva en comparación con los grupos de control negativo (plata coloidal obtenida y microdyn) donde se observó una inhibición en la división celular. Fue en este último donde se encontraron más aberraciones, lo que podría deberse a la concentración de plata y algunos otros materiales de la formulación comercial, sin embargo es necesario considerar estudios a mayor profundidad para analizar estos resultados.



**Grafica 1.** Promedio de células en mitosis expuestas a tratamiento de plata coloidal comercial (microdyn) plata coloidal obtenida.

*Fuente: Elaboración propia.*

## CONCLUSIONES

Es posible elaborar un microbicida de manera económica a base de plata coloidal con una actividad antimicrobiana eficaz y con un menor impacto a nivel genotóxico que un microbicida comercial el cual puede ser implementada para la desinfección de agua o alimentos en un panorama de emergencias o zonas de bajos recursos. Es necesario acotar que es necesario realizar caracterizaciones más profundas para determinar el efecto de los hallazgos encontrados con respecto al tamaño y morfología de las partículas y de esta manera mejorar el proceso. Así mismo es necesario estandarizar y escalar el proceso para poder contar con proyecciones para la elaboración a escala piloto del microbicida.

## REFERENCIAS

1. Hernández, W., & López, D. (2014). Estandarización en el método de preparación de plata coloidal mediante la técnica de electrogravimetría. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952
2. 13 Estandarizacion de un bioindicador para la evaluacion. (n.d.).
3. Sun, Y., & Xia, Y. (2003). Gold and silver nanoparticles: A class of chromophores with colors tunable in the range from 400 to 750 nm. *Analyst*, 128(6). <https://doi.org/10.1039/b212437h>
4. Tendencia, E. A. (2004). Disk diffusion method. In *Laboratory manual of standardized methods for antimicrobial sensitivity tests for bacteria isolated from aquatic animals and environment* (pp. 13-29). Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
5. Cardoso, P. C. (2016). Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud. *Unidad de Toxicología Del Hospital de Niños Ricardo Gutiérrez*.
6. Rodríguez, E. M. del R. C. (2015). Plata Coloidal: Xenobiótico, Antígeno y Disruptor Hormonal. *REB. Revista de Educación Bioquímica*, 34(1), 1–14. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-19952015000100010](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952015000100010)
7. Noguera Paláu, J. J. (2012). La profilaxis de Credé. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 87(12), 419. <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2012.10.006>

## Caracterización de aguas contaminadas con BTEX y MTBE en México.

Sandra Guadalupe García Aburto<sup>1</sup>  
sggarciaa@itsm.edu.mx

Luis Carlos Sandoval-Herazo<sup>2</sup>  
lcsandovalh@itsm.edu.mx

Eliseo Hernández Aggi<sup>3</sup>  
ehernandez@itsm.edu.mx

Contacto:  
sggarciaa@itsm.edu.mx  
2351003734

Especificar Área(s) temática de la Investigación del artículo  
ejemplo: **Sustentabilidad ambiental**

<sup>1</sup>Sandra Guadalupe García Aburto, Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa, Laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación., Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

<sup>2</sup>Luis Carlos Sandoval Herazo, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación., Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

<sup>3</sup>Eliseo Hernández Aggi, Ingeniero Industrial., Laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación., Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

### **RESUMEN:**

Este documento proporciona un análisis detallado de los compuestos BTEX y MTBE (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, metil terbutil éter), destacando su prevalencia en el agua y las estrategias para su tratamiento. Se resalta la magnitud del problema y la exposición de la sociedad a estos compuestos. Se comparan las normativas mexicanas e internacionales sobre los límites permisibles de BTEX y MTBE en el agua, y se discute la calidad del agua en México y con otros países. El documento analiza los tratamientos actuales para estos componentes. Además, se aborda el impacto de los hidrocarburos en el medio ambiente y la salud pública,

destacando la amenaza que representan para ecosistemas terrestres, acuáticos y la atmósfera. Se concluye enfatizando la necesidad de reducir la contaminación por BTEX y MTBE, evaluar los sitios contaminados y modernizar los tratamientos para estos compuestos, incorporando nuevas tecnologías y estrategias para mejorar la eficiencia en su tratamiento.

**PALABRAS CLAVE:** *Hidrocarburos, agua residual, derrames, BTEX, MTBE.*

**ABSTRACT:** *This document offers a comprehensive examination of BTEX*

***and MTBE compounds (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene, and methyl tertiary-butyl ether), underscoring their prevalence in water and the methodologies for their remediation. It underscores the severity of the issue and the societal exposure to these substances. The study juxtaposes Mexican and international regulations regarding permissible levels of BTEX and MTBE in water, and deliberates on the water quality in Mexico in comparison with other nations. The document scrutinizes the current treatments available for these pollutants. Furthermore, it addresses the impact of hydrocarbons on the environment and public health, accentuating the threat they pose to terrestrial and aquatic ecosystems, as well as the atmosphere. The paper concludes by emphasizing the imperative to mitigate BTEX and MTBE pollution, assess contaminated sites, and modernize treatment processes for these chemicals by integrating novel technologies and strategies to enhance the efficiency of remediation efforts.***

**KEYWORDS:** Hydrocarbons, wastewater, spills, BTEX, MTBE.

## INTRODUCCIÓN

La interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente es un tema de creciente importancia y preocupación en la sociedad contemporánea. La supervivencia y desarrollo de las comunidades dependen intrínsecamente de la calidad y disponibilidad de los recursos naturales, tales como el suelo, el aire, el agua y los ecosistemas en general. Estos elementos constituyen el capital natural del planeta, y su estado influye directamente en la competitividad y productividad de los sectores económicos y sociales que los

utilizan. A su vez, las actividades de estos sectores impactan de manera significativa en la calidad y disponibilidad de estos recursos naturales [1].

En las últimas décadas, el crecimiento exponencial de la actividad industrial ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente, contribuyendo a la contaminación de estos recursos naturales con sustancias como metales pesados, compuestos orgánicos e hidrocarburos. Estos contaminantes representan una amenaza seria para la salud pública, incluso en bajas concentraciones [2]. Los hidrocarburos, en particular, son compuestos de carbono e hidrógeno que se han convertido en una fuente primordial de energía en el siglo XXI. Sin embargo, su uso constante y el crecimiento demográfico e industrial han intensificado la amenaza que representan para el medio ambiente, afectando tanto a los ecosistemas terrestres y acuáticos como a la atmósfera [3].

La contaminación por hidrocarburos es un problema global, con incidentes notables como el derrame de petróleo en el Mar Árabe en 2010 y el derrame en el río Sela en Bangladesh en 2014, que han causado daños extensos a los ecosistemas y han puesto en peligro la vida silvestre y las comunidades locales [3]. En México, la industria petrolera ha sido identificada como una de las principales fuentes de contaminación, con miles de sitios contaminados reportados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en 2016 [4].

Ante esta situación, se ha generado una creciente preocupación por el tratamiento y eliminación de los hidrocarburos en el agua. Los procesos naturales como la fotólisis, oxidación, partición, biodegradación y adsorción juegan un papel crucial en la determinación del destino y el impacto de estos contaminantes en el medio ambiente [5]. Los compuestos BTEX, que incluyen benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, son componentes comunes de la gasolina y representan una amenaza particular debido a

su solubilidad en agua y su potencial para contaminar fuentes de agua potable, aumentando el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer [6] [7] [8]. El MTBE (Methyl Tertiary-Butyl Ether) es un compuesto químico utilizado principalmente como aditivo en la gasolina para aumentar el octanaje y reducir las emisiones de carbono. Sin embargo, debido a su solubilidad en agua y su resistencia a la biodegradación, el MTBE puede contaminar fuentes de agua subterránea y superficial si se derrama o se filtra desde tanques de almacenamiento subterráneo de gasolina [9]. La presencia de MTBE en el agua potable es preocupante debido a su potencial toxicidad y su sabor y olor desagradables, incluso a bajas concentraciones. Por lo tanto, es esencial tratar las aguas contaminadas con MTBE para garantizar la seguridad del agua potable. Se han desarrollado varias estrategias y tecnologías para tratar el agua contaminada con MTBE, incluida la adsorción, la oxidación avanzada y los procesos biológicos. Es crucial monitorear y regular la presencia de MTBE en las fuentes de agua para proteger la salud pública y el medio ambiente.

La calidad y disponibilidad de los recursos naturales son fundamentales para el desarrollo y bienestar de las comunidades, y la contaminación por hidrocarburos representa una amenaza seria para estos recursos. Esta revisión presenta un panorama contemporáneo del BTEX y MTBE en calidad de contaminantes a nivel global, considerando la legislación vigente y los estudios recientes enfocados en su erradicación del entorno natural. Asimismo, se examina la transición hacia tecnologías innovadoras, destacando las posibilidades futuras de su implementación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación es de tipo cualitativa, conformada por artículos integrados con una base de datos de un gran número de publicaciones de la última década, agregando algunas investigaciones de la penúltima y antepenúltima década para fortalecer aún más

la búsqueda, especialmente cuando se trata de fundamentos teóricos. La revisión estuvo estructurada por artículos, capítulos de libros, libros y tesis, los cuales han sido publicados tanto en inglés como en español.

En el proceso de revisión bibliográfica para la elaboración del estado del arte de la presente investigación, se ha llevado a cabo una exhaustiva búsqueda de literatura científica relacionada la aplicación al tratamiento de contaminantes específicos como BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y MTBE (éter metil ter-butílico). Dicha búsqueda se ha realizado en diversas bases de datos académicas y científicas de renombre, incluyendo Google Scholar y ScienceDirect, entre otras, con el fin de garantizar la exhaustividad y relevancia de los resultados obtenidos.

A pesar de los esfuerzos realizados, se ha observado una limitada disponibilidad de estudios y publicaciones científicas que aborden de manera específica la temática en cuestión en el rango temporal de los últimos seis años. Esta circunstancia puede atribuirse a diversas razones que se expondrán a continuación.

En primer lugar, es importante destacar que la investigación en el ámbito de los humedales construidos ha experimentado un crecimiento significativo derivado en una diversificación temática, lo que podría explicar la escasez de estudios centrados específicamente en BTEX y MTBE en los últimos años.

En segundo lugar, la evolución de las políticas medioambientales y la implementación de regulaciones más estrictas en relación con la emisión y presencia de contaminantes en el medio ambiente han propiciado el desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias de tratamiento. Esto podría haber derivado en un desplazamiento del interés investigador hacia otras áreas más novedosas o emergentes, dejando en un segundo plano la temática de BTEX y MTBE.

Adicionalmente, es posible que la naturaleza misma de los contaminantes BTEX y MTBE,

conocidos por su volatilidad y solubilidad en agua, haya planteado desafíos significativos en términos de su tratamiento. Esto ha llevado a la comunidad científica a explorar diversas alternativas de tratamiento más eficaces para estos compuestos específicos.

Esta revisión presenta un panorama contemporáneo del BTEX y MTBE en calidad de contaminantes a nivel global, considerando la legislación vigente y los estudios recientes enfocados en su erradicación del entorno natural. Asimismo, se examina la transición hacia tecnologías innovadoras, destacando las posibilidades futuras de su implementación.

## RESULTADOS

En el contexto mexicano, las entidades que llevan a cabo operaciones en los ámbitos industrial, comercial o de servicios, y que son catalogadas como de alto riesgo, están obligadas a someterse a un Estudio de Riesgo Ambiental (ERA). Este proceso tiene como finalidad principal evaluar los peligros asociados con la manipulación de materiales peligrosos, con el objetivo de prever y, en su caso, prevenir o minimizar las liberaciones accidentales de sustancias químicas peligrosas. Entre los años 1992 y 2015, fue el sector petrolero y sus derivados el que presentó la mayor cantidad de ERAs, con un total de 2,948 estudios, lo que representa el 28.4% del total de ERAs registradas. Según datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) del año 2016 [4], se identificaron 4,078 sitios contaminados a causa de emergencias ambientales. De este total, PEMEX fue la entidad con la mayor responsabilidad, con 2,743 sitios afectados, equivalentes al 67.3%, seguido por los transportistas con un 25.5%. La SEMARNAT también proporcionó información sobre los contaminantes involucrados en estas emergencias ambientales para el periodo 2008-2015, destacando que los hidrocarburos representaron el porcentaje más alto con un 30%, seguidos por la gasolina con un 27%, mientras que el combustóleo tuvo el impacto

más bajo con un 4%. En la Figura 1 se puede apreciar que, sumando los porcentajes de hidrocarburos y gasolina, se alcanza el 57% del total de contaminantes involucrados.



**Figura 1. Contaminantes involucrados en emergencias ambientales entre 2008-2015 en México (SEMARNAT, 2016).**

*Fuente: Mitra y Roy (2011).*

Los BTEX, que incluyen benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, son contaminantes orgánicos volátiles comunes en el agua, suelo y aire, especialmente asociados con la industria petrolera y petroquímica. Estos compuestos se disuelven y evaporan fácilmente debido a su naturaleza hidrófila, lo que les permite viajar largas distancias y potencialmente contaminar las aguas subterráneas. En la industria, los BTEX se encuentran en productos como pinturas y adhesivos, y constituyen una porción significativa de las emisiones volátiles y de los contaminantes en la gasolina.

A nivel mundial, se han reportado casos de contaminación por BTEX en el agua, como en Colorado, donde los derrames de petróleo han afectado las aguas subterráneas. En México, la situación es preocupante ya que se estima que la mayoría de los desechos líquidos industriales se vierten sin tratamiento, contribuyendo a la contaminación. PEMEX [10]. [11], la empresa estatal de petróleo, ha reconocido impactos ambientales consistentes

relacionados con la gestión del agua y los derrames. Además, incidentes como el robo de combustible han provocado derrames en canales de agua utilizados en la agricultura, representando un riesgo para la salud pública. BTEX en la Industria: Los BTEX representan hasta el 80% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en plantas petroquímicas y hasta el 59% de los contaminantes en la gasolina, con el m-xileno constituyendo el 31% y el tolueno el 26%. La solubilidad del benceno en agua es de 1780 g/cm<sup>3</sup>, lo que indica una alta capacidad de estos compuestos para disolverse en agua. El Coeficiente de partición octanol-agua (K<sub>ow</sub>): para los compuestos BTEX son bajos, lo que sugiere una tendencia a disolverse en la fase acuosa o evaporarse debido a su naturaleza hidrófila (tabla 1) Desechos Líquidos Industriales en México se estima que más del 90% de los desechos líquidos industriales se vierten directamente al sistema de drenaje sin tratamiento previo, los impactos Ambientales de PEMEX, aunque no es responsable del 100% de los derrames de hidrocarburos, ha informado que los impactos ambientales a nivel local son consistentes año con año, afectando principalmente el agua, las descargas de aguas residuales y la gestión de residuos, en Puebla, se ha reportado contaminación en canales de agua utilizados para la agricultura debido al robo o mal uso de los combustibles.

**Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de los componentes de BTEX y MTBE a 25°**

**Fuente: Mitra y Roy (2011); Kharisov, et al. (2014); Chesnaux (2008)**

Propiedades físicas y químicas de los compuestos Btex y MTBE a 25°C					
Compuesto	Fórmula	Masa molecular (g/mol)	Solubilidad (g/cm <sup>3</sup> )	Presión de Vapor (Pa)	Log K <sup>ow</sup>
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.1	1780	12700	2.13
Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	92.1	515	3800	2.69
Etilbenceno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	106.2	160	1270	3.15
Xilenos	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	106.2	185	1170	3.15
Metil terbutil éter	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> COCH <sub>2</sub> /C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	88.15	525	3000	1.60

Los compuestos BTEX, que incluyen benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, son ubicuos en el ambiente, originándose tanto de fuentes naturales como de actividades humanas. La preocupación principal radica en los derivados de actividades antropogénicas, que presentan una toxicidad significativa y se liberan en cantidades preocupantes al medio ambiente. Se sabe desde hace tiempo que la exposición a BTEX puede tener consecuencias adversas para la salud, como cáncer, daño hepático e irritación de órganos, a través de la ingestión de agua contaminada o la inhalación de estos compuestos [12]

#### **BTEX y MBTE en agua.**

Los BTEX y MBTE pueden cruzar la barrera hematoencefálica, lo que los hace neurotóxicos y capaces de causar daño cerebral. Las dosis letales para humanos se han estimado en cantidades relativamente pequeñas, y el benceno, en particular, es reconocido por su potencial carcinogénico y genotóxico [13]. Las regulaciones, como las de la OSHA en EE. UU. y la NOM-047-SSA1-2011 [14] en México, establecen límites de exposición para proteger la salud de los trabajadores. Además, la producción de BTEX y MTBE por industrias, como la petroquímica, contribuye significativamente a la contaminación ambiental, como se evidencia en los informes de PEMEX. En la tabla 2 se muestra una comparación de los límites máximos permisibles (LMP) [15]. [16]. [17] para agua potable que han sido fijados por distintas entidades reguladoras internacionales, destacando las Directrices para el Agua Potable de Australia (ADWG) como las más rigurosas [18].

En cuanto a la regulación del agua, la NOM-127-SSA1-2021 [19] en México y las directrices de la EPA en EE. UU. establecen límites máximos permisibles para BTEX y MTBE en agua potable. Aunque la normativa mexicana es más estricta para algunos compuestos en comparación con la EPA, sigue siendo más suave para el benceno. La calidad del agua en

México varía, con un porcentaje significativo de cuerpos de agua que no cumplen con los estándares de buena calidad.

La regulación de MTBE, otro contaminante del agua, también varía. En EE. UU., la EPA no lo regula como contaminante primario, pero algunos estados han establecido sus propias normas. En México, la CONAGUA y la SEMARNAT son las autoridades encargadas de establecer normas para proteger la calidad del agua, incluyendo la regulación de MTBE y BTEX.

La NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 [20] establece límites para BTEX en suelo, lo que ayuda a prevenir la contaminación del agua subterránea. México se ha comprometido a nivel nacional e internacional a abordar la contaminación ambiental a través de programas como el PROMARNAT 2020-2024, con el objetivo de mejorar la calidad del agua y reducir el impacto ambiental de la contaminación, (Tabla 2).

Límites permisibles para BTEX y MTBE en agua potable por distintas agencias regulatorias internacionales.						
Agencias regulatorias	Parámetros (ppm)	Benceno (ppm)	Tolueno (ppm)	Etilbenceno (ppm)	Xilenos (ppm)	Metil terbutil éter (ppm)
NOM-127-SSA1-2021		0.01	0.7	0.3	0.5	0.005
US EPA (1994)		0.005	1	0.7	10	0.0001
OMS (2001)		0.01	0.7	0.3	0.5	0.005
ADWG (2011)		0.001	0.025	0.03	0.02	0.0002

**Tabla 2. Límites permisibles para BTEX y MTBE en agua potable por distintas agencias reguladoras internacionales**

**Fuente:** (NHMRC, 2011; WHO, 2011; US EPA, 1994; - NOM-127-SSA1-2012).

Los BTEX y el MTBE son contaminantes ambientales de gran preocupación debido a su toxicidad y prevalencia. Las regulaciones existen para limitar la exposición y proteger la salud pública, pero aún hay desafíos significativos en la gestión y el tratamiento de estos compuestos tóxicos.

### **Tipos de tratamientos ambientales para BTEX y MTBE**

Los métodos de remediación para suelos y acuíferos afectados por hidrocarburos han

priorizado tradicionalmente los hidrocarburos poliaromáticos (HAP), que corresponden a las fracciones más pesadas del petróleo y que tienen un impacto significativo en el medio ambiente [23] [24]. No obstante, los compuestos BTEX y MTBE son más prevalentes en el entorno debido a su uso extendido en la industria [25]. Con el tiempo, se ha intensificado la búsqueda de técnicas de tratamiento más eficaces, económicas y ecológicas para estos compuestos. Se ha observado que la integración de métodos tradicionales con tecnologías innovadoras resulta en tratamientos más rápidos y efectivos. Existen diversas estrategias para abordar la contaminación por BTEX y MTBE, cada una con sus pros y contras, y su selección depende de varios factores como el nivel de contaminación, tiempo de contacto, carga contaminante, costos y eficacia. Los enfoques de tratamiento habituales incluyen métodos mecánicos, fisicoquímicos, biológicos y la emergente nanotecnología. Otras técnicas comunes como la evaporación, enterramiento, dispersión y lavado, a menudo resultan en una descomposición parcial de los contaminantes. La Figura 2 resume los métodos actuales para tratar BTEX y MTBE. Los métodos "mecánicos" implican el uso de maquinaria para responder rápidamente a emergencias ambientales, pero requieren de un proceso secundario (biológico o fisicoquímico) para eliminar completamente los contaminantes. Por ejemplo, se utilizan bombas para extraer BTEX y MTBE de acuíferos profundos, seguido de la inyección de oxígeno para promover la degradación biológica [26]. Las barreras se emplean para contener derrames en el agua y recolectar los contaminantes en un punto específico [27]. La eficacia de cada método dependerá de las condiciones específicas del sitio y de la concentración de contaminantes, entre otros factores. A continuación, se discutirán los tratamientos biológicos y nanotecnológicos para BTEX y MTBE en agua. Los microorganismos son agentes clave en la degradación de hidrocarburos en el medio

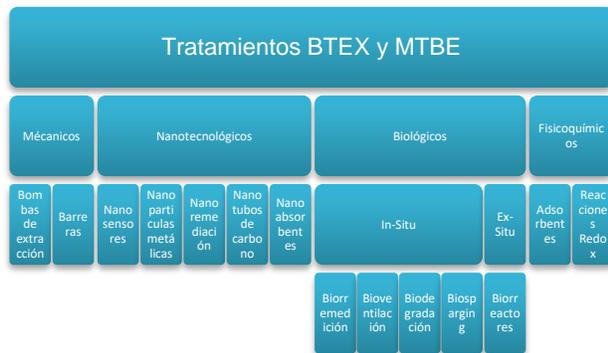
ambiente [28]. Existen varios métodos biológicos para tratar BTEX y MTBE en agua, que se basan en la capacidad de ciertos microorganismos de usar hidrocarburos como fuente de carbono y/o energía [29]. Acuña-Askar [30] demostraron que la biodegradación aerobia puede eliminar hasta el 99% del benceno y el 92% de los xilenos en agua en diez días; sin embargo, el tratamiento biológico de BTEX y MTBE suele ser prolongado. La biorremediación es un método económico y ecológico que aprovecha las capacidades metabólicas de los microorganismos para descomponer contaminantes de manera bioquímica, siendo una técnica in situ altamente valorada [31]. La bioaumentación, que implica añadir organismos degradadores al entorno contaminado, se compara con la bioestimulación, que busca crear condiciones óptimas para la degradación microbiana [32]. La bioaumentación ha demostrado ser efectiva para la eliminación de BTEX y MTBE, con tasas de remoción de hasta 99.5% para benceno, tolueno y etilbenceno, aunque la degradación de o-xileno resulta más desafiante. Acuña y Lin [30] [33] investigaron la degradación de BTEX y MTBE utilizando perlas de liberación de oxígeno y perlas de células inmovilizadas, logrando eliminar un 67% de benceno y entre 81-90% de TEX a una concentración de 120 ppm. Aunque la mayoría de las técnicas de biorremediación son aeróbicas, se están desarrollando métodos anaeróbicos para áreas con déficit de oxígeno [34]. La biorremediación asegura que los residuos generados se integren de manera segura al medio ambiente y es menos costosa que los métodos fisicoquímicos [35]. [34]. Sin embargo, los hidrocarburos altamente aromáticos son resistentes a la degradación microbiana y requieren tiempos prolongados para su descomposición, lo que motiva la búsqueda continua de microorganismos capaces de degradar BTEX y MTBE de manera eficiente. De la Cueva y Bradley y Chapelle [36][37] utilizaron la biorremediación in situ para tratar BTEX y MTBE a bajas temperaturas

en Alaska, observando una mejor mineralización en comparación con temperaturas más altas. Cunningham et al. [38] compararon la biorremediación in situ con la Remediación por Atenuación Natural (RNA) en Seal Beach, California, encontrando que la inyección de nitrato y sulfato en el acuífero contaminado aceleraba la biodegradación de BTEX y MTBE más eficientemente que la RNA. La degradación fúngica también se ha explorado para la biorremediación de BTEX y MTBE, utilizando hongos de los géneros *Cladophialophora* y *Cladosporium*, aunque la eficacia de esta técnica aún se encuentra en investigación [36].

La nanotecnología ha emergido como una técnica prometedora para la remediación de contaminantes en agua, incluyendo BTEX y MTBE. Los nanomateriales, debido a su tamaño y propiedades únicas, tienen la capacidad de interactuar con los contaminantes a nivel molecular, ofreciendo una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes [40]. Los nanomateriales más comunes utilizados en la remediación de agua son los nanotubos de carbono, nanopartículas metálicas y nanocompuestos [40]. Las nanopartículas de hierro cero valente (nZVI) son especialmente efectivas para la degradación de BTEX y MTBE, ya que pueden reducir los contaminantes a compuestos menos tóxicos o incluso inocuos [40]. La nanotecnología ofrece la ventaja de ser una técnica de tratamiento in situ, lo que reduce la necesidad de transportar contaminantes a instalaciones de tratamiento externas [39]. Sin embargo, existen preocupaciones sobre la seguridad y el impacto ambiental a largo plazo de los nanomateriales, y se requiere más investigación para comprender completamente sus efectos [30]. La Figura 5 ilustra el proceso de remediación utilizando nZVI. Las nanopartículas se inyectan en el acuífero contaminado, donde reaccionan con los contaminantes, reduciéndolos a compuestos menos tóxicos. Este proceso puede ser monitoreado mediante técnicas de

caracterización de nanopartículas y análisis de la calidad del agua [40] Aunque la nanotecnología es una técnica emergente, su aplicación en la remediación de BTEX y MTBE en agua ha demostrado ser prometedora, con estudios que reportan altas tasas de remoción de contaminantes [39]. Sin embargo, la implementación a gran escala de la nanotecnología aún enfrenta desafíos relacionados con la producción, el costo y la regulación de los nanomateriales [39]

Se puede decir que, la remediación de BTEX y MTBE en agua es un campo en constante evolución, con avances significativos en la comprensión y aplicación de métodos biológicos y nanotecnológicos. La selección del método de tratamiento adecuado depende de una evaluación cuidadosa de las condiciones del sitio, la naturaleza y concentración de los contaminantes, y consideraciones económicas y ambientales. A medida que la tecnología avanza, es probable que surjan nuevas técnicas y mejoras en las existentes, ofreciendo soluciones más efectivas y sostenibles para la protección de los recursos hídricos



**Figura 2. Tratamientos para BTEX y MTBE**  
Fuente: Mitra y Roy (2011).

### CONCLUSIONES

Los compuestos BTEX y MTBE, comúnmente presentes en productos de consumo y liberados en operaciones de petróleo y gas, están incrementando su presencia cerca de zonas residenciales, escuelas y otros espacios

de actividad humana, lo que resulta en la contaminación de mares, ríos, fuentes de agua potable y acuíferos. La creciente preocupación ha impulsado la creación de normativas más rigurosas y efectivas para limitar y disminuir la presencia de BTEX y MTBE en el agua, como las estrictas regulaciones impuestas por la agencia ADWG (Australian Drinking Water Guidelines). Es crucial intensificar las acciones para mitigar la polución causada por estos compuestos. Aunque México está avanzando en la adopción de medidas ambientales a nivel nacional e internacional, especialmente en la gestión del agua, es esencial continuar con la evaluación de áreas contaminadas y minimizar incidentes de fugas y derrames de hidrocarburos. Además, es vital la actualización de los métodos de tratamiento para BTEX y MTBE, integrando nuevas tecnologías que aumenten su eficacia. Los procesos de purificación de agua mencionados en esta revisión tienen sus pros y contras. La revisión subraya que la contaminación por BTEX y MTBE es un desafío ambiental constante para las fuentes de agua. La investigación persiste en el desarrollo de técnicas más efectivas, económicas y ecológicas, que no generen residuos nocivos post-tratamiento, marcando un campo de estudio significativo para futuras investigaciones.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] PROMARNAT, "Estado del medio ambiente y recursos naturales en México," 2020.
- [2] L. Belayachi et al., "Impact of heavy metals on environmental pollution," *Journal of Environmental Management*, vol. 15, no. 3, pp. 245-254, 2015.
- [3] S. Banerjee et al., "Hydrocarbon pollution and its effect on the environment," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 567-576, 2016.

- [4] SEMARNAT, "Informe de sitios contaminados en México," 2016.
- [5] T. Saeed y N. Al-Mutairi, "Natural processes affecting the fate of hydrocarbons in the environment," *Environmental Processes*, vol. 6, no. 1, pp. 123-136, 1999.
- [6] M. Aivalioti et al., "BTEX in the environment: The significance of groundwater contamination," *Water Research*, vol. 46, no. 5, pp. 1767-1785, 2012.
- [7] O. M. Fayemiwo et al., "Chronic diseases and environmental pollution: An epidemiological study," *Journal of Public Health*, vol. 25, no. 4, pp. 409-417, 2017.
- [8] Y. Zhang et al., "MTBE: Its implications on water quality," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 10, no. 2, pp. 209-216, 2012.
- [9] S. Mehdizadeh et al., "MTBE in gasoline: Environmental and health concerns," *Environmental Science & Technology*, vol. 56, no. 1, pp. 15-29, 2022.
- [10] PEMEX (2017a). Anuario estadístico 2017. MÉXICO: PEMEX. Recuperado [http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/anuario-estadistico\\_2017\\_es.pdf](http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Anuario%20Estadistico%20Archivos/anuario-estadistico_2017_es.pdf)
- [11] PEMEX. (2017 B). Statistical Yearbook 2017. México: PEMEX. Recuperado de <http://www.pemex.com/en/investors/publications/Documents/STATISTICAL-YEARBOOK-2017.pdf>
- [12] N. Thobeka y R. Sudesh, "Health effects of BTEX exposure," *Journal of Environmental Health*, vol. 79, no. 8, pp. 22-27, 2017.
- [13] S. Castillo et al., "Neurotoxic effects of BTEX and MTBE," *Toxicology Letters*, vol. 95, no. 3, pp. 189-193, 1998.
- [14] NOM-047-SSA1-2011 Norma Oficial Mexicana. Límites biológicos máximos permisibles de disolventes orgánicos en el personal ocupacionalmente expuesto
- [14.A.] OSHA STANDARD -29 CFR 1910.1028 (7/1/1999). National Library of Medicine, hsdB: Benzene, CARSN: 71-43-2
- [15] S. Mitra y P. Roy, "Regulations of BTEX in the environment," *Environmental Law Review*, vol. 13, no. 2, pp. 145-152, 2011.
- [16] B. I. Kharisov et al., "Advanced oxidation processes for water treatment," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 150, pp. 1-24, 2014.
- [17] R. Chesnaux, "Groundwater contamination by BTEX: A case study," *Groundwater Monitoring & Remediation*, vol. 28, no. 1, pp. 65-72, 2008.
- [18] NHMRC, "Australian Drinking Water Guidelines," 2011.
- [19] NOM-127-SSA1-2021, "NOM-127-SSA1-2021, Norma Oficial Mexicana, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización," 2021.
- [20] NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, "Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación," 2012.
- [21] W. WHO, "Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.," Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2011.
- [22] US EPA, "National primary drinking water standards," EE. UU.: Office of Water, 1994. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#one>.
- [23] H. K. Bojes y P. G. Pope, "Characterization of EPA's 16 priority pollutant polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in tank bottom solids and associated contaminated soils at oil exploration and production

- sites in Texas," *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 47, no. 3, pp. 288-295, 2007.
- [24] C. Romo-Gómez et al., "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in superficial water and sediment of lake Tecocomulco, Mexico," *Interciencia*, pp. 905-911, 2010.
- [25] O. M. Fayemiwo, O. M. Daramola, y K. Moothi, "BTEX compounds in water-future trends and directions for water," *Water SA*, vol. 43, no. 4, pp. 602-613, 2017.
- [26] SCT, "Metodología para saneamiento de acuíferos profundos por derrame de hidrocarburos," Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2002.
- [27] ITOPF, "Uso de barreras en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos," ITOPF, London, 2014.
- [28] F. Röling et al., "Robust hydrocarbon degradation and dynamics of bacterial communities during nutrient-enhanced oil spill bioremediation," *Applied and Environmental Microbiology*, pp. 5537–5548, 2002, doi: 10.1128/AEM.68.11.5537–5548.2002.
- [29] M. Vidali, "Bioremediation. An overview," *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, no. 7, pp. 1163-1172, 2001, doi: 10.1351/pac200173071163.
- [30] K. Acuña, J. Villareal, M. Gracia, R. Tijerina, M. Garza, B. Chávez, y H. Barrera, "Cinética de biodegradación degradación de mezclas BTEX-EMTB por medio de un proceso de bioaumentación," *CIENCIA UANL*, vol. IX, 2008.
- [31] L. Huang et al., "Optimization of nutrient component for diesel oil degradation by *Acinetobacter beijerinckii* ZRS," *Marine Pollution Bulletin*, pp. 325-332, 2013.
- [32] C. Kaplan y C. Kitts, "Bacterial succession in a petroleum land treatment unit," *Applied and Environmental Microbiology*, pp. 1777-1786, 2004.
- [33] C. W. Lin et al., "Novel oxygen-releasing immobilized cell beads for bioremediation of BTEX-contaminated water," *Bioresource Technology*, vol. 124, pp. 45-51, 2012.
- [34] E. Franchi et al., "Exploiting hydrocarbon-degrader indigenous bacteria for bioremediation and phytoremediation of a multi-contaminated soil," *Chemical Engineering & Technology*, vol. 39, no. 9, pp. 1676-1684, 2016.
- [35] C. Lei et al., "Bioremediation of Water Contaminated With BTEX, TPH and TCE Under Different Environmental Conditions," *Advances in Environmental Geotechnics*, 2010.
- [36] S. De la Cueva, C. Rodríguez, N. Cruz, J. Contreras, y J. Miranda, "Changes in Bacterial Populations During Bioremediation of Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons," *Water Air Soil Pollut*, pp. 1-12, 2016.
- [37] P. Bradley and F. H. Chapelle, "Rapid Toluene Mineralization by Aquifer Microorganisms at Adak, Alaska: Implications for Intrinsic Bioremediation in Cold Environments," *Environ. Sci. Technol.*, pp. 2778–2781, 1995, doi: 10.1021/es00011a012.
- [38] J. A. Cunningham et al., "Enhanced In Situ Bioremediation of BTEX-Contaminated Groundwater by Combined Injection of Nitrate and Sulfate," *Environmental Science & Technology*, vol. 35, no. 8, pp. 1663-1670, 2001, doi: 10.1021/es001722t.
- [39] J. A. Cunningham, H. Rahme, G. D. Hopkins, C. Lebron, y M. Reinhard, "Enhanced In Situ Bioremediation of BTEX-Contaminated Groundwater by Combined Injection of Nitrate and Sulfate," *Environmental Science & Technology*, vol. 35, no. 8, pp. 1663-1670, 2001.

- [40] J. Kaur et al., "Application of Nanotechnology in the Environment Biotechnology," en Advances in Environmental Biotechnology, R. Kumar, A. Sharma, y S. Ahluwalia, Eds., Singapore: Springer, 2017, pp. 155-165.**

## Un análisis teórico de la agricultura regenerativa en contraste con la agricultura convencional

Hernández Hernández José Luis <sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Altamira

Contacto:  
jluis.hdz1099@gmail.com  
+52 833 251 6917

### Sustentabilidad

<sup>1</sup> Ingeniería Industrial, departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Altamira.

**RESUMEN:** *La agricultura ha sido crucial para la evolución humana, pero los métodos convencionales han planteado desafíos de sostenibilidad. La Agricultura Regenerativa surge como un enfoque prometedor que busca revitalizar la tierra, promover la biodiversidad y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas. Este estudio comparativo se enfocó en analizar la Agricultura Regenerativa frente a la agricultura convencional. Se utilizó una metodología cualitativa, revisando literatura para comparar su impacto ambiental, biodiversidad, salud del suelo, retención de carbono, productividad y beneficios socioeconómicos. La Agricultura Regenerativa destacó por su enfoque en la restauración del suelo, promoviendo biodiversidad y reduciendo agroquímicos. Aunque la agricultura convencional mostró ventajas a corto plazo, la Agricultura Regenerativa reveló un potencial a largo plazo, especialmente en condiciones cambiantes. Ofreció beneficios económicos y sociales y se perfila como una opción transformadora hacia la sostenibilidad. La conclusión destaca la complejidad en la transición hacia la*

*Agricultura Regenerativa y su potencial para sistemas agrícolas más sostenibles y equitativos. Este enfoque, enfocado en restaurar el suelo y promover biodiversidad, muestra un potencial significativo para transformar sistemas agrícolas hacia la sostenibilidad.*

**PALABRAS CLAVE:** *Agricultura Regenerativa, Agricultura Convencional, Control biológico de plagas, Diversificación de cultivos, Fertilidad del suelo, Ganadería regenerativa, Materia orgánica del suelo, Mitigación y adaptación al cambio climático, Rotación de cultivos, Salud del suelo, Secuestro de carbono.*

**ABSTRACT:** *Agriculture has been pivotal for human evolution, yet conventional methods have posed sustainability challenges. Regenerative Agriculture emerges as a promising approach aiming to revitalize land, foster biodiversity, and enhance agroecosystem resilience. This comparative study focused on*

***analyzing Regenerative Agriculture against conventional agriculture. A qualitative methodology was employed, reviewing literature to compare their environmental impact, biodiversity, soil health, carbon retention, productivity, and socio-economic benefits. Regenerative Agriculture stood out for its soil restoration focus, promoting biodiversity, and reducing agrochemicals. While conventional agriculture showed short-term advantages, Regenerative Agriculture revealed long-term potential, especially under changing conditions. It offered economic and social benefits and appears as a transformative choice towards sustainability. The conclusion highlights the complexity in transitioning to Regenerative Agriculture and its potential for more sustainable and equitable agricultural systems. This approach, centered on soil restoration and biodiversity promotion, shows significant potential in transforming agricultural systems towards sustainability.***

**KEYWORDS:** *Regenerative Agriculture, Conventional Agriculture, Biological Pest Control, Crop Diversification, Soil Fertility, Regenerative Livestock Farming, Soil Organic Matter, Climate Change Mitigation and Adaptation, Crop Rotation, Soil Health, Carbon Sequestration.*

## INTRODUCCIÓN

La agricultura, en su esencia, ha sido un pilar fundamental en la subsistencia y evolución de la humanidad a lo largo de la historia. No obstante, los métodos convencionales de cultivo han generado desafíos significativos

relacionados con la sostenibilidad, la degradación del suelo y el agotamiento de los recursos naturales. En respuesta a estos desafíos, ha surgido un enfoque emergente y prometedor conocido como Agricultura Regenerativa. Este enfoque se basa en principios que buscan revitalizar la tierra, promover la biodiversidad, y mejorar la resiliencia de los agroecosistemas. Para comprender en profundidad la Agricultura Regenerativa y su potencial impacto, este estudio teórico se propone analizar y comparar la Agricultura Regenerativa con los métodos convencionales de agricultura, con el objetivo de arrojar luz sobre sus diferencias, ventajas y desafíos.

La Agricultura Regenerativa se ha convertido en un tema de gran interés en la comunidad científica y en la sociedad en general. La Agricultura Regenerativa se define como un enfoque que no solo aspira a mantener la salud del suelo, sino a mejorarla a lo largo del tiempo [1]. Se basa en principios fundamentales, como la promoción de la biodiversidad, la minimización del uso de agroquímicos y la mejora de la retención de carbono en el suelo. La adopción de esta práctica es impulsada por la creciente preocupación por la sostenibilidad de la agricultura convencional y su impacto negativo en el suelo, la biodiversidad y el clima [2]. La relevancia de la Agricultura Regenerativa se ha destacado en múltiples discursos, destacando su potencial transformador en la agricultura y la sociedad [3].

La Agricultura Regenerativa se distingue por su enfoque en la restauración de la calidad del suelo y la mitigación de la degradación del suelo, un aspecto crítico para la sostenibilidad a largo plazo [4]. En un contexto más amplio, la Agricultura Regenerativa ha desencadenado debates sobre su relación con la agricultura orgánica y el futuro de la agricultura en el siglo XXI [5].

Este estudio se sumerge en el mundo de la Agricultura Regenerativa, buscando una comprensión más profunda de sus principios, su efectividad en comparación con los métodos convencionales y las implicaciones para el futuro de la agricultura sostenible. A través de la revisión de la literatura, la identificación de indicadores clave y un análisis comparativo de sus principios y prácticas, se pretende arrojar luz sobre el potencial transformador de la Agricultura Regenerativa en la búsqueda de un sistema agrícola más sostenible y resiliente.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Metodología.

En este estudio teórico comparativo sobre Agricultura Regenerativa y métodos convencionales de agricultura, se utilizó una metodología cualitativa. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva para recopilar información sobre los principios y prácticas de la Agricultura Regenerativa, así como de los métodos convencionales de agricultura. A partir de esta revisión, se compararon ambos enfoques considerando su impacto ambiental, biodiversidad y salud del suelo, retención de carbono y emisiones, productividad y rendimientos, resiliencia climática, y beneficios sociales y económicos. Mediante un análisis comparativo sistemático, se identificaron ventajas, desventajas, similitudes y diferencias entre la Agricultura Regenerativa y la agricultura convencional. Los resultados se interpretaron en una discusión que destacó el potencial de la Agricultura Regenerativa para transformar los sistemas agrícolas hacia la sostenibilidad. Finalmente, se presentaron conclusiones resumiendo los hallazgos más relevantes del estudio teórico.

## INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA REGENERATIVA.

### Definición y concepto de agricultura regenerativa.

La agricultura regenerativa es un enfoque innovador que busca restaurar y mejorar la salud del suelo, aumentar la biodiversidad y reducir la huella de carbono de la agricultura, mientras se fomenta la sostenibilidad y la producción de alimentos de alta calidad. Este enfoque se basa en la comprensión de que el suelo es un recurso limitado y que su degradación puede tener consecuencias graves para la producción de alimentos y la salud del medio ambiente. A medida que los desafíos ambientales y la degradación del suelo se vuelven más evidentes, la necesidad de adoptar prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente se vuelve cada vez más urgente. La agricultura regenerativa se basa en principios científicos sólidos y aborda los problemas asociados con la agricultura convencional y sus impactos negativos en el suelo y el medio ambiente.

Lal [4] destaca la importancia de la restauración de la calidad del suelo para mitigar la degradación del suelo en el contexto de la agricultura. La degradación del suelo, que incluye la erosión, la pérdida de nutrientes y la disminución de la materia orgánica, es una preocupación creciente debido a su impacto en la producción de alimentos y en la sostenibilidad agrícola a largo plazo. Lal propone que la agricultura regenerativa puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la calidad del suelo y en la mitigación de la degradación del mismo. El autor argumenta que la agricultura regenerativa puede mejorar la calidad del suelo a través de prácticas como la rotación de cultivos, la siembra directa y la aplicación de abonos orgánicos. Estas prácticas pueden aumentar la materia orgánica del suelo, mejorar la estructura del suelo y aumentar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes.

Reganold y Wachter [5] exploran el papel y la

evolución de la agricultura orgánica en el siglo

Aunque no se centra específicamente en la agricultura regenerativa, el enfoque orgánico comparte muchos principios y objetivos similares, como la mejora de la salud del suelo, la biodiversidad y la sostenibilidad. Los autores argumentan que la agricultura orgánica puede ser una forma efectiva de promover la agricultura regenerativa. La agricultura orgánica se basa en prácticas agrícolas sostenibles que promueven la salud del suelo, la biodiversidad y la calidad de los alimentos. Además, la agricultura orgánica puede reducir la huella de carbono de la agricultura al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover prácticas agrícolas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **Principios y Prácticas de la Agricultura Regenerativa.**

La agricultura regenerativa se basa en un conjunto de principios y prácticas que buscan reconstruir la salud del suelo y restaurar la biodiversidad en los sistemas agrícolas. Algunas de las prácticas clave incluyen [4] [5]:

1. Cobertura del Suelo: Mantener el suelo cubierto con cultivos, residuos vegetales o acolchado ayuda a prevenir la erosión y a mejorar la retención de humedad.
2. Rotación de Cultivos: Cambiar los cultivos en el mismo campo de manera regular ayuda a evitar la acumulación de plagas y enfermedades, además de mejorar la salud del suelo.
3. No Labranza: Evitar la labranza excesiva reduce la perturbación del suelo y mantiene su estructura y microbiota intactas.
4. Uso de Compost y Abonos Orgánicos: Aportar materia orgánica al suelo aumenta su fertilidad y mejora la retención de nutrientes.

5. Integración de Cultivos y Ganadería: La combinación de cultivos y ganado puede tener efectos beneficiosos en la salud del suelo y la gestión de nutrientes.
6. Agroforestería: Introducir árboles en los sistemas agrícolas puede contribuir a la mejora del suelo y proporcionar otros beneficios, como la captura de carbono.

La agricultura regenerativa emerge como un enfoque prometedor para abordar los desafíos ambientales y degradación del suelo asociados con la agricultura convencional. A través de la adopción de prácticas que buscan restaurar y mejorar los ecosistemas agrícolas, se espera que la agricultura regenerativa contribuya a la sostenibilidad a largo plazo de la producción de alimentos, la salud del suelo y la biodiversidad.

### **INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA CONVENCIONAL.**

#### **Definición y concepto de agricultura convencional.**

La definición de "agricultura convencional" puede variar según el contexto y la perspectiva. Sin embargo, en general, se refiere a un enfoque agrícola que utiliza prácticas y tecnologías tradicionales o comúnmente aceptadas en la agricultura moderna. La agricultura convencional se caracteriza por el uso de insumos sintéticos, como fertilizantes químicos y pesticidas, maquinaria agrícola intensiva, monocultivos y altos niveles de mecanización. Esta forma de agricultura se ha asociado históricamente con la maximización de la producción y la eficiencia, con un enfoque en la productividad a corto plazo.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la definición de agricultura convencional puede variar según el contexto y las perspectivas individuales. Algunos pueden enfocarse en aspectos específicos, como el uso de insumos químicos, mientras que otros pueden considerar factores como el tamaño de la explotación, la estructura de cultivos o las

prácticas de manejo del suelo [6].

### **Enfoque y prácticas de la Agricultura convencional.**

El enfoque de la agricultura convencional se basa en la maximización de la producción agrícola a través del uso intensivo de insumos externos, como fertilizantes sintéticos, pesticidas y maquinaria agrícola [7]. Los principios básicos de la agricultura convencional incluyen:

Uso de insumos químicos: La agricultura convencional se caracteriza por el uso de fertilizantes sintéticos para proporcionar nutrientes a los cultivos y pesticidas para controlar plagas y enfermedades. Estos insumos químicos se utilizan para maximizar el rendimiento de los cultivos y protegerlos de las amenazas bióticas.

1. Monocultivo: La agricultura convencional tiende a favorecer el monocultivo, es decir, el cultivo de una sola especie en grandes extensiones de tierra. Esto se debe a la eficiencia en la gestión y la maximización de la producción de cultivos específicos.

2. Uso intensivo de maquinaria: La agricultura convencional se apoya en el uso de maquinaria agrícola para realizar tareas como la preparación del suelo, la siembra, el riego y la cosecha. Esto permite una mayor eficiencia y productividad en comparación con métodos manuales.

3. Dependencia de recursos externos: La agricultura convencional depende en gran medida de insumos externos, como semillas mejoradas genéticamente, fertilizantes y pesticidas. Estos recursos suelen ser adquiridos en el mercado y pueden generar dependencia económica y ambiental.

4. Enfoque en la productividad y rentabilidad: El objetivo principal de la agricultura convencional es maximizar la productividad y la rentabilidad económica. Se busca obtener altos rendimientos de los cultivos para satisfacer la

demanda creciente de alimentos y generar beneficios económicos para los agricultores.

### **Evolución del término “Agricultura convencional”.**

A lo largo del tiempo, el significado del término "agricultura convencional" ha evolucionado y ha sido utilizado de diferentes maneras. En las décadas de 1950 y 1960, se utilizaba para referirse a la agricultura cotidiana o presente, sin una definición clara ni explicación de lo que implicaba. En ese momento, no se mencionaba la agricultura no convencional y, en algunos casos, se utilizaba para contrastarla con tecnologías emergentes como la hidroponía.

En las décadas de 1970 y 1980, el término comenzó a utilizarse para identificar y caracterizar prácticas agrícolas que se podían comparar con la agricultura orgánica. Se enfatizaban diferencias como la sustitución de capital por mano de obra, el tamaño de las unidades agrícolas y la gestión de la fertilidad del suelo y las plagas de los cultivos. En este sentido, se consideraba a la agricultura convencional como un enfoque más moderno y tecnificado en comparación con la agricultura orgánica [6].

Sin embargo, a medida que avanzaba el tiempo, el término "agricultura convencional" comenzó a ser utilizado de manera más amplia y a menudo se asociaba con características negativas. Se le atribuían problemas como la insostenibilidad, la degradación ambiental, la dependencia de insumos externos y la falta de capacidad para abordar desafíos como el cambio climático y la seguridad alimentaria. Esta visión negativa de la agricultura convencional se ha utilizado para promover enfoques alternativos y resaltar sus supuestas ventajas en términos de sostenibilidad y resiliencia.

A lo largo del tiempo, el significado del término "agricultura convencional" ha evolucionado desde una descripción de la agricultura

cotidiana hacia una caracterización de prácticas agrícolas tecnificadas y, posteriormente, hacia una visión más crítica y negativa de la agricultura convencional en comparación con enfoques alternativos [8].

### **Limitaciones y problemas de la dicotomía entre la agricultura convencional y la agricultura alternativa.**

La dicotomía entre la agricultura convencional y la agricultura alternativa presenta varias limitaciones y problemas.

En primer lugar, simplifica la complejidad y diversidad de los sistemas agrícolas. La agricultura es una práctica multifacética y dependiente del contexto, con variaciones en insumos, prácticas, escala y resultados observados tanto en sistemas convencionales como alternativos. Definir la agricultura convencional en función de una sola característica, como el uso de fertilizantes sintéticos o el arado, pasa por alto la amplia gama de prácticas y resultados dentro de esta categoría.

En segundo lugar, la dicotomía perpetúa una falsa dicotomía entre la agricultura convencional y la agricultura alternativa. En realidad, existe un continuum de intensidad en el uso de insumos, escala, diversificación y otros factores que existen tanto en sistemas convencionales como alternativos. Esta variación del mundo real a menudo se considera insuficientemente en las comparaciones binarias, lo que lleva a una comprensión simplificada de la agricultura.

En tercer lugar, la dicotomía tiende a homogeneizar y normalizar las agriculturas alternativas mientras se estigmatiza la agricultura convencional. Retrata la agricultura convencional como insostenible, destructiva para el medio ambiente y perjudicial para las comunidades rurales, mientras idealiza los enfoques alternativos. Este enfoque puede

llevar a un debate polarizado e improductivo sobre el futuro de la agricultura.

Además, la dicotomía pasa por alto la importancia de la adaptación local, la disponibilidad de recursos, la geografía económica y el contexto político en la configuración de los sistemas agrícolas. No tiene en cuenta los diversos entornos históricos, biofísicos, sociales, culturales y políticos en los que se lleva a cabo la agricultura, lo que resulta en una comprensión limitada de las complejidades de las prácticas agrícolas.

En resumen, la dicotomía entre la agricultura convencional y la alternativa simplifica en exceso la diversidad y complejidad de los sistemas agrícolas, perpetúa una falsa dicotomía, homogeniza las agriculturas alternativas y pasa por alto importantes factores contextuales. Estas limitaciones y problemas dificultan una comprensión integral y matizada del futuro de la agricultura [9].

### **Comparativa entre los principios y prácticas de la Agricultura Regenerativa y la Agricultura Convencional.**

La agricultura regenerativa y la agricultura convencional representan dos enfoques significativamente diferentes en la forma en que se practica la agricultura. Mientras que la agricultura regenerativa se basa en principios y prácticas destinados a reconstruir la salud del suelo y promover la biodiversidad, la agricultura convencional se enfoca en la maximización de la producción agrícola a través del uso intensivo de insumos químicos y maquinaria. La tabla comparativa a continuación resalta las principales diferencias entre estos dos enfoques, subrayando sus objetivos, prácticas y efectos en los sistemas agrícolas y el medio ambiente.

### **Beneficios de la agricultura regenerativa**

La Agricultura Regenerativa ofrece una serie de beneficios significativos que se derivan de su

enfoque en la restauración y el cuidado de los ecosistemas agrícolas. Estos beneficios se pueden dividir en varias categorías:

1. Mejora de la Salud del Suelo y la Productividad.

Según White [2], la Agricultura Regenerativa contribuye a la mejora de la salud del suelo, aumentando la productividad a largo plazo y la resiliencia de los cultivos. Esta restauración del suelo es esencial para garantizar una producción agrícola sostenible y de alta calidad.

**Tabla 1. Principios y Prácticas de la Agricultura Regenerativa y la Agricultura Convencional.**

Aspecto	Agricultura Regenerativa	Agricultura Convencional
Objetivo principal	Restaurar la salud del suelo y biodiversidad	Maximizar la producción y rentabilidad
Cobertura del Suelo	Mantener el suelo cubierto para prevenir erosión	No se enfoca en la cobertura del suelo
Rotación de Cultivos	Cambio regular de cultivos para evitar plagas	Favorece el monocultivo
Labranza	Evitar labranza excesiva para mantener la estructura del suelo	Utiliza labranza intensiva
Uso de Compost y Abonos Orgánicos	Aportar materia orgánica para mejorar la fertilidad	Depende de fertilizantes sintéticos
Integración de Cultivos y Ganadería	Combina cultivos y ganado para beneficios en	No promueve la integración de cultivos y ganadería

	la salud del suelo	
Agroforestería	Introduce árboles para mejorar el suelo y capturar carbono	No incorpora árboles en sistemas agrícolas
Uso de insumos químicos	Minimiza el uso de productos químicos sintéticos	Utiliza fertilizantes y pesticidas sintéticos
Monocultivo	Promueve la diversidad de cultivos	Favorece el cultivo de una sola especie
Uso intensivo de maquinaria	Menos dependencia de maquinaria agrícola	Se apoya en maquinaria para tareas agrícolas
Dependencia de recursos externos	Reduce la dependencia de insumos externos	Dependencia de semillas genéticamente mejoradas, fertilizantes y pesticidas
Enfoque en sostenibilidad	Busca la sostenibilidad a largo plazo de la producción de alimentos, la salud del suelo y la biodiversidad	Enfoque en la productividad y rentabilidad económica

2. Reducción de la Erosión y Protección del Agua.

La Agricultura Regenerativa reduce la erosión del suelo y previene la escorrentía de nutrientes, lo que es fundamental para la sostenibilidad de la agricultura [4]. Esta práctica contribuye a la conservación de fuentes de agua y a la prevención de la contaminación, garantizando la disponibilidad de recursos hídricos limpios.

La Agricultura Regenerativa como alternativa económicamente viable frente a la Agricultura Convencional

La Agricultura Regenerativa (RA) emerge como una alternativa económicamente viable frente a la Agricultura Convencional (CA). Al reducir los costos de insumos, mejorar la productividad del suelo y ofrecer oportunidades en mercados de carbono, la RA se posiciona como un motor de sustentabilidad económica para agricultores y comunidades locales [10].

Al enfocarse en la salud del suelo y minimizar el uso de insumos externos, la Agricultura Regenerativa reduce significativamente los costos asociados a fertilizantes sintéticos y pesticidas. Esto se traduce en ahorros y mayor rentabilidad para los agricultores. Además, el énfasis en la diversificación de cultivos proporciona fuentes adicionales de ingresos y resiliencia frente a fluctuaciones del mercado.

La mejora en la fertilidad del suelo derivada de las prácticas regenerativas aumenta los rendimientos y la productividad de los cultivos. Esto contribuye a la viabilidad económica de las operaciones agrícolas a mediano y largo plazo.

Otra ventaja es la posibilidad de participar en mercados de carbono y obtener ingresos por el secuestro de carbono en el suelo. Asimismo, el impulso a los sistemas alimentarios locales y la comercialización directa dinamizan las economías rurales y generan oportunidades laborales [11].

En conclusión, frente al modelo extractivista de la Agricultura Convencional, la Agricultura Regenerativa ofrece una alternativa viable y rentable, con claros beneficios económicos y sociales para agricultores y comunidades. Su adopción es clave para avanzar hacia sistemas alimentarios más sostenibles.

## Experiencias y Estudio de caso.

El artículo de Miller-Klugesherz y Sanderson [12] presenta un relevante estudio de caso cualitativo basado en entrevistas a profundidad realizadas a 51 agricultores en la región de las Grandes Llanuras centrales de Estados Unidos. Los autores exploran cómo los agricultores experimentan la transición de la agricultura industrial a las prácticas agrícolas regenerativas, enfocándose en las implicaciones para las identidades y el bienestar de los agricultores.

Un hallazgo clave del estudio es que los agricultores en transición tendían a adoptar una postura moralizada, distinguiéndose de aquellos que practicaban formas más industriales de agricultura. Gran parte de los agricultores entrevistados utilizaban el discurso de la adicción para describir la agricultura industrial, conceptualizando la agricultura regenerativa como una forma de recuperación.

Otro aspecto interesante que surge del estudio de caso es que avanzar hacia una adopción más profunda de los principios regenerativos parece involucrar desafíos adicionales, especialmente de orden financiero, dado que los beneficios tangibles de las prácticas regenerativas tienden a manifestarse en el mediano y largo plazo. Sin embargo, los autores encuentran que aquellos agricultores que lograban superar al menos tres años de implementación de prácticas regenerativas expresaban convicciones más profundas sobre los beneficios ecológicos y humanos de este enfoque.

En síntesis, este estudio de caso arroja luz sobre las tensiones y transiciones en las identidades y culturas agrícolas que pueden estar asociadas a la adopción de un paradigma regenerativo. Si bien los desafíos son reales, el caso también sugiere que la agricultura

regenerativa puede renovar no solo los agroecosistemas sino también el bienestar y los propósitos de los agricultores. Futuros estudios de caso y análisis comparativos pueden continuar profundizando en estas dimensiones.

## RESULTADOS

El estudio teórico comparativo entre la Agricultura Regenerativa y los métodos convencionales de agricultura se basó en una metodología cualitativa, utilizando una revisión bibliográfica exhaustiva para evaluar los principios, prácticas y efectos de ambas modalidades.

A partir de la revisión, se compararon múltiples aspectos de la Agricultura Regenerativa y la agricultura convencional. Se observaron diferencias significativas en términos de su impacto ambiental, biodiversidad y salud del suelo, así como en la retención de carbono y emisiones. La Agricultura Regenerativa destacó por su enfoque hacia la restauración y conservación del suelo, promoviendo una mayor biodiversidad y una reducción en el uso de agroquímicos, lo que podría contribuir a la mitigación del cambio climático [1][2].

En cuanto a la productividad y rendimientos, la agricultura convencional mostró una ventaja a corto plazo, pero la Agricultura Regenerativa reveló un potencial a largo plazo para mantener o incluso mejorar los rendimientos, especialmente bajo condiciones cambiantes y desafiantes [5][10]. Además, se evidenciaron beneficios económicos y sociales en la implementación de la Agricultura Regenerativa, resaltando su potencial para promover la sostenibilidad económica y social a largo plazo [8][11].

Se identificaron ventajas y desventajas en ambos enfoques, destacando la necesidad de

considerar la complejidad de la transición hacia la Agricultura Regenerativa. La comparación entre los sistemas reveló un escenario donde la Agricultura Regenerativa emerge como una alternativa potencialmente transformadora y más sostenible a largo plazo [12].

En la discusión, se resaltó el potencial de la Agricultura Regenerativa para transformar los sistemas agrícolas hacia la sostenibilidad, ofreciendo una visión integral que sugiere un camino prometedor para mitigar la degradación del suelo, mejorar la resiliencia climática y promover sistemas agrícolas más sostenibles y equitativos [11][8].

## CONCLUSIONES

El estudio teórico comparativo entre la Agricultura Regenerativa y la agricultura convencional reveló una diversidad de hallazgos significativos que enfatizan la importancia de considerar enfoques sostenibles en la agricultura. La Agricultura Regenerativa demostró ser un modelo prometedor con múltiples ventajas y desafíos en comparación con la agricultura convencional.

Los resultados reflejaron la capacidad de la Agricultura Regenerativa para promover la restauración y conservación del suelo, fomentando una mayor biodiversidad y reduciendo el uso de agroquímicos, elementos cruciales para mitigar el cambio climático a largo plazo. A pesar de que la agricultura convencional mostró ventajas a corto plazo en términos de productividad y rendimientos, la Agricultura Regenerativa presentó un potencial considerable a largo plazo, especialmente en condiciones cambiantes y desafiantes.

Además, se evidenciaron beneficios económicos y sociales al implementar la Agricultura Regenerativa, subrayando su

capacidad para promover la sostenibilidad a largo plazo. La Agricultura Regenerativa emergió como una opción potencialmente transformadora, capaz de ofrecer soluciones a problemas sistémicos y promover la equidad social en sistemas agrícolas.

La comparativa entre ambos enfoques resaltó la importancia de considerar la complejidad en la transición hacia la Agricultura Regenerativa. Si bien la agricultura convencional mostró ventajas inmediatas, la visión a largo plazo de la Agricultura Regenerativa sugiere un camino más sostenible y resiliente para la agricultura. La implementación de prácticas regenerativas podría desempeñar un papel fundamental en la mitigación de la degradación del suelo y la promoción de sistemas agrícolas más sostenibles y equitativos.

Estas conclusiones subrayan la importancia de considerar los beneficios y desafíos de ambas modalidades para tomar decisiones informadas y estratégicas para el futuro de la agricultura. La Agricultura Regenerativa, con su énfasis en la restauración del suelo, la promoción de la biodiversidad y los beneficios económicos y sociales, muestra un potencial significativo para transformar los sistemas agrícolas hacia la sostenibilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. G. Cusworth y T. Garnett, «What is regenerative agriculture?», jun. 2023. doi: 10.56661/2d7b8d1c.
- [2]. C. White, «Why regenerative Agriculture?», *The American Journal of Economics and Sociology*, vol. 79, n.º 3, pp. 799-812, may 2020, doi: 10.1111/ajes.12334.
- [3]. E. Gordon, F. Davila, y C. Riedy, «Regenerative Agriculture: a potentially transformative storyline shared by nine discourses», *Sustainability Science*, vol. 18, n.º 4, pp. 1833-1849, feb. 2023, doi: 10.1007/s11625-022-01281-1.
- [4]. R. Lal, «Restoring soil quality to mitigate soil degradation», *Sustainability*, vol. 7, n.º 5, pp. 5875-5895, may 2015, doi: 10.3390/su7055875.
- [5]. J. P. Reganold y J. M. Wachter, «Organic agriculture in the twenty-first century», *Nature Plants*, vol. 2, n.º 2, feb. 2016, doi: 10.1038/nplants.2015.221.
- [6]. R. C. Oelhof, *Organic agriculture: economic and ecological comparisons with conventional methods*. 1978. [En línea].
- [7]. V. Seufert, N. Ramankutty, y J. A. Foley, «Comparing the yields of organic and conventional agriculture», *Nature*, vol. 485, n.º 7397, pp. 229-232, abr. 2012, doi: 10.1038/nature11069.
- [8]. K. E. Giller *et al.*, «Communicating complexity: Integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development», *Agricultural Systems*, vol. 104, n.º 2, pp. 191-203, feb. 2011, doi: 10.1016/j.agsy.2010.07.002.
- [9]. J. Sumberg y K. E. Giller, «What is 'conventional' agriculture?», *Global Food Security*, vol. 32, p. 100617, mar. 2022, doi: 10.1016/j.gfs.2022.100617.
- [10]. G. A. Musto, P. A. Swanepoel, y J. Strauss, «Regenerative Agriculture V. Conservation Agriculture: Potential effects on soil quality, crop productivity and whole-farm economics in Mediterranean-climate regions», *The Journal of Agricultural Science*, vol. 161, n.º 3, pp. 328-338, abr. 2023, doi: 10.1017/s0021859623000242.

[11]. A. Bless, F. Davila, y R. Plant, «A Genealogy of Sustainable Agriculture Narratives: Implications for the Transformative Potential of Regenerative agriculture», *Agriculture and Human Values*, may 2023, doi:10.1007/s10460-023-10444-4.

[12]. J. A. Miller-Klugesherz y M. R. Sanderson, «Good for the soil, but good for the farmer? Addiction and recovery in transitions to Regenerative agriculture», *Journal of Rural Studies*, vol. 103, p. 103123, oct. 2023, doi: 10.1016/j.jrurstud.2023.103123.

## Influencia de la incorporación de desechos de construcción y demolición en concretos modificados expuestos en agua de mar

Pablo Julián López González<sup>1</sup>  
202t0432@itsm.edu.mx

Isaac Arguellez Aguirre<sup>2</sup>  
202t0462@itsm.edu.mx

Alex Fernando Martínez Freeman<sup>3</sup>  
jlopezg@itsm.edu.mx

Contacto:

+52 8994585887  
+52 2791064438

**Temática:** Desarrollo de alternativas de concreto modificado

<sup>1</sup>**Pablo Julián López González**, Doctor, Ingeniería Civil, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

<sup>2</sup>**Isaac Arguellez Aguirre**, Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Civil, Laboratorio, Instituto Tecnológico Superior de Misantla

<sup>3</sup>**Alex Fernando Martínez Freeman**, Estudiante de Licenciatura en Ingeniería Civil, Laboratorio, Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

**RESUMEN:** Los desechos de construcción y demolición contribuyen a la contaminación ambiental debido a la falta existente de bancos para su depósito por lo que el presente artículo muestra la implementación de una alternativa en la incorporación de restos de desechos de construcción en diseños de concreto por medio de la sustitución de los agregados gruesos en las proporciones 10%, 20% y 30%. La metodología del proceso de elaboración de especímenes se efectúa enfocada bajo la normativa ONNCCE; Dentro de su fraguado se efectuó una exposición en un ambiente agresivo simulado como lo es el agua de mar; La resistencia obtenida de los diseños respecto a la comparación de la muestra de concreto control demuestra que, el diseño con sustitución en un 20 % es el más viable, factible respecto a precio de elaboración y

resistencia a compresión para su uso en elementos estructurales.

### **PALABRAS CLAVE:**

Concreto modificado, Disminución de material de bancos, Resistencia, Factibilidad.

**ABSTRACT:** Construction and demolition waste contributes to environmental pollution due to the existing lack of banks for its deposit, so this article shows the implementation of an alternative in the incorporation of remains of construction waste in concrete designs through replacement of fine aggregates in proportions 10%, 20% and 30%. The methodology of the specimen preparation process is carried out focused on the ONNCCE regulations; Within its setting, an

***exposure was carried out in a simulated aggressive environment such as seawater; The resistance obtained from the designs compared to the comparison of the control concrete sample demonstrates that the design with 20% substitution is the most viable, feasible with respect to manufacturing price and compressive strength for use in structural elements.***  
**abstract**

**KEYWORDS:**

***Modified concrete, Reduction of bench material, Strength, Feasibility.***

**INTRODUCCIÓN**

El concreto en la industria de la construcción se ha utilizado durante siglos, [1] en la mayoría de los casos, la mezcla de aglutinantes es cemento y agua, pero también existen tipos específicos de concretos fabricados con diferentes aglutinantes. [2]

Logrando la implementando de una sustitución en agregado fino extraído de los desechos de construcción que como es de amplio concepto los residuos de construcción son el producto resultante de la demolición de edificios o la utilización ineficiente de materiales de construcción en proyectos, los cuales tras el transcurso del tiempo se visualizan como un problema de alto impacto ambiental, que debe ser mejorado ya sea reduciendo estas cantidades o, en ciertos casos, reciclándolos materialmente. [3]

Por lo que cabe resaltar que bajo la metodología de los diseños elaborados con remplazo del 10%, 20% y 30% se busca obtener el mejoramiento en la resistencia y propiedades del concreto utilizando materiales de excelente calidad incluyendo los extraídos de los desechos por medio de su caracterización en granulometría [4] ,logrando su factibilidad como uso cotidiano en la construcción de infraestructura .

En esta línea de investigación de los concretos modificados para su uso en la construcción además de tener una aportación para la construcción en la zona costera del municipio de Vega de Alatorre, Veracruz [5] ya que como se sabe la exposición de elementos de concreto en agua de mar es uno de los grandes desafíos de la construcción en este tipo de ambiente agresivo debido a sus propiedades las cuales causan patologías debido a su contenido de cloruro, el cual es un ion de origen natural presente en fuentes de agua superficiales, agua de mar e incluso en el agua de lluvia. [6].

Como principio en la metodología se evaluó la caracterización de los materiales bajo una granulometría guiada bajo la normativa ONNCCE, posteriormente se realizaron pruebas físicas mecánicas de los materiales para determinar los diseños de mezclas junto a sus relaciones agua/cemento de cada uno de los diseños. [4]

El curado y tratamiento de las muestras realizados se sometió en exposición al agua de mar y se trabajo bajo la norma NMX-C-159-ONNCCE.

La implementación de análisis de datos que se recopilaran durante el tiempo de prueba realizadas a los diferentes diseños de concretos modificados expuestos ayudara determinar y establecer que diseño tiene los resultados más aceptables respecto el tiempo de vida rentable para su implementación en el campo laboral en obras de infraestructura. [7].

La resistencia a compresión en los elementos tiene como objetivo la evaluación de la capacidad de resistencia a la compresión del concreto, y es fundamental para garantizar la calidad del material. [8].

El agregado sustituyente proveniente de los municipios ya antes mencionados contribuirá a la elaboración de los diseños de concreto los cuales traerán consigo la aportación a las

consiguientes investigaciones de concreto alternativos de las regiones.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Preliminares de la metodología.

La estación de trabajado fue en el laboratorio de ingeniería civil en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla en las coordenadas (19°56'59.17" N ,96°50'37.36" O). Se realizó la obtención de los agregados finos y gruesos en bancos de materiales del municipio de Misantla, Veracruz. Así como la recolección de desechos de construcción recolectados de un banco de desechos de construcción provenientes de losa del municipio de Misantla, Ver; para posteriormente extraer un agregado grueso de su trituración.



**Figura 1. Trituración del material de residuos de construcción (autor propio).**

### Metodología.

De los cuales se llevó a cabo su separación por granulometría e individualmente se realizó su caracterización empleando pruebas respecto a la normativa ONNCCE para obtener la calidad de los agregados y así mismo incluyendo los materiales extraídos de los bancos de material.

**Figura 2, Diagrama de proceso de evaluación de materiales respecto a la normativa ONNCCE (autor propio).**

### Diseño y elaboración de especímenes.

El diseño metodológico empleado fue bajo el método ACI 211.1 el cual respecto la normativa ONNCCE, se determinaron tres diferentes diseños (10%, 20% y 30%) en sustitución del agregado grueso para llevar consigo la evaluación de las características físicas mecánicas de dichos especímenes en comparación de un concreto control (CTRL).

**Tabla 1. Sustitución respecto a diseño de especímenes de concreto cúbicos (autor propio).**

Mezcla	A.G %	Des. %
CTRL	100	0
CRS10	90	10
CRS20	80	20
CRS30	70	30

Logrando efectuar pruebas en el concreto fresco para determinar la calidad en la estabilidad del concreto.



**Figura 3. Medición del revenimiento (autor propio).**

Los colados se realizaron con la finalidad de lograr obtener una masa rígida y esbelta de concreto para realizar ensayos de resistencia a la compresión de los diferentes diseños de especímenes, así como la prueba de adsorción capilar las cuales ayudaron a la determinación del mejor concreto para su implementación en el campo laboral.



**Figura 4. Determinación de la resistencia a la compresión de un espécimen (autor propio).**



**Figura 5. Adsorción capilar (autor propio).**

## RESULTADOS

Los resultados mostrados a continuación son presentados a base de la resistencia a la compresión que logro cada espécimen de concreto elaborado con los distintos porcentajes de sustitución en el agregado grueso.



**Figura 6. Primer resultado de resistencia a la compresión a los 28 días.**

La Figura 6. muestra los primeros resultados obtenidos en la resistencia a la compresión de

los especímenes, donde el concreto control cumple con una buena resistencia siendo el 100% de esta, el que presenta más baja resistencia es el concreto con 30% de sustitución de agregado. La muestra con sustitución del 20% presenta una mejora en su resistencia debido a que alcanza un 77.74%.



Figura 7. Resultados de resistencia a la compresión a los 60 días.

En la Figura 7. se puede apreciar el cambio que tubo los distintos especímenes al ser sometidos nuevamente a compresión, siendo ahora el concreto con residuos del 20% el que logra una mejor obtención de resistencia como de igual manera el concreto con sustitución del 30% de residuos de construcción. El espécimen con 20% alcanza una resistencia del 133.43% superando al concreto control.

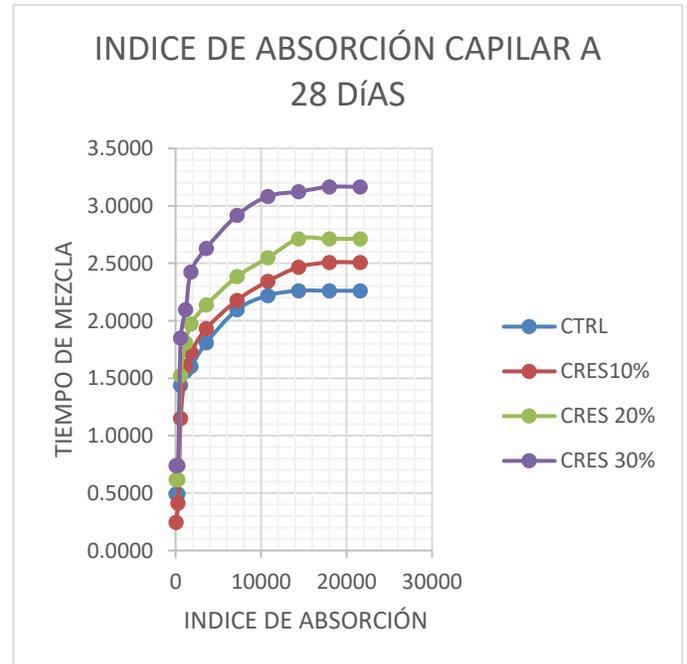


Figura 8. Grafica del índice de absorción capilar a 28 días.

En la Figura 8. se presentan los resultados obtenidos por la prueba de absorción y densidad en pastillas de concreto, dicha prueba fue realizada bajo la norma NMX-C-504-ONNCCE-2014. Estos resultados fueron obtenidos al realizar la prueba en pastillas de concreto cilíndricas y así determinar el incremento de absorción. Se presenta el incremento del índice de absorción que logra obtener cada mezcla por el tiempo transcurrido.

En la Figura 9. se muestra la determinación del índice de absorción de las mezclas mencionadas, en este caso son a los 60 días transcurridos de curado. En esta figura fue el caso contrario debido a que se obtuvo una disminución en el índice de absorción a los 60 días de curado de las muestras de concreto.

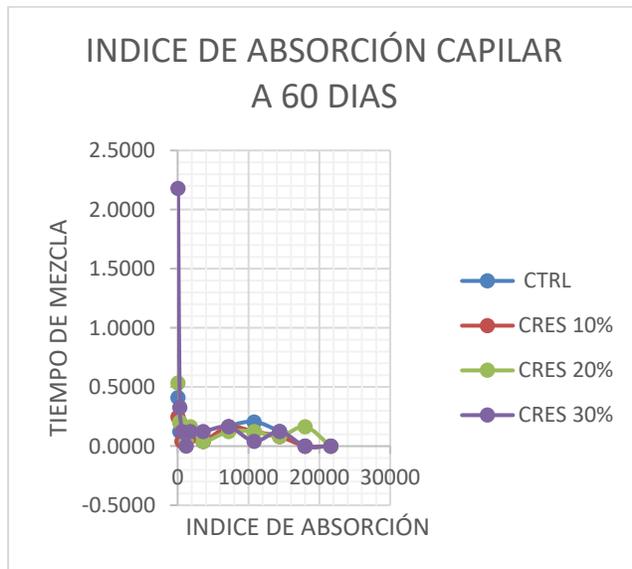


Figura 9. Índice de absorción capilar a los 60 días.

## CONCLUSIONES

Acorde a la investigación se puede llevar como conclusión que:

- La implementación de la sustitución de agregado fino en el diseño de un concreto modificado logra disminuir la explotación de los bancos de materiales.
- El diseño con sustitución en un 20% fue el diseño que puede lograr su implementación en el ámbito laboral ya que logra obtener con éxito una mejor resistencia a la compresión que el concreto control que se emplea en la investigación.
- Para la implementación de este diseño se recomienda realizar las pruebas en el material y lograr las mismas caracterizaciones de los materiales obtenidos en este estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] *m. r. campuzano, «propuesta de educacion para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en tejupilco de hidalgo, estado de mexico,» p. 6, 2019.*

[2] *cemex, «cemex,» 2020. [en línea]. available:*

*<https://www.cemexmexico.com/productos/concreto-old>.*

[3] *c. jhonny, «caracterizacion de los residuos de la construccion,» p. 3, 2019.*

[4] *techtalks, «atria innovation,» 2023. [en línea]. available:*

*<https://www.atriainnovation.com/caracterizacion-de-materiales-tecnicas/>.*

[5] *r. & fuentes, «evaluación de los impactos ambientales generados por la construcción de un fraccionamiento en santa fe, veracruz, veracruz, méxico,» p. 6, 2009.*

[6] *a. a. & c. yura, «construyendo seguro, concreta yura,» 2020. [en línea]. available:*

*<https://www.construyendoseguro.com/identifica-el-clima-ideal-para-la-proteccion-del-concreto/#:~:text=recuerda%20que%20el%20concreto%20debe,no%20cumplir%20con%20los%20requisitos>,*

*<https://www.yura.com.pe/blog/colocacion-del-concreto-bajo-temperaturas-extre>.*

[7] *k. s.a.s., «konkretes s.a.s.,» 20121. [en línea]. available:*

*<https://konkretes.com/concreto/dosificacion-concreto/>.*

[8] *onncce, «organismo nacional de normalizacion y certificacion de la construccion y edificacion,» organismo nacional de normalizacion y certificacion de la construccion y edificacion, pp.*

*<https://www.onncce.org.mx/es/venta-normas/fichas-tecnicas?view=item&id=1674>, 2015.*

[9] *h. c. p. m. r. i. r. l. & s. g. guevara g., «efecto de la variacion en agua/cemento en el concreto,» p. 81, 2012.*

## Estado actual del uso de técnicas de inteligencia artificial en el proceso de producción artesanal del café

Cesar Augusto García Sánchez<sup>1</sup>, Arturo García Santillán<sup>2</sup>, Giovanni Luna Chontal<sup>3</sup>, Roberto Ángel Meléndez-Armenta<sup>4</sup>

232t0021@itsm.edu.mx<sup>1</sup>  
agarcias@itsm.edu.mx<sup>2</sup>  
glunac@itsm.edu.mx<sup>3</sup>  
ramelendeza@itsm.edu.mx<sup>4</sup>

Contacto:  
ramelendeza@itsm.edu.mx<sup>4</sup>  
235 107 68 04

### Inteligencia Artificial

<sup>1</sup>Licenciado en Contaduría, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla 93821, Veracruz, México;

<sup>2</sup>Doctor en Administración, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla 93821, Veracruz, México;

<sup>3</sup>Maestro en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla 93821, Veracruz, México;

<sup>4</sup>Doctor en Ciencias de la Computación, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Misantla 93821, Veracruz, México.

**RESUMEN:** *En el artículo examinado, se aborda la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la producción de café, resaltando sus objetivos, los métodos empleados, los resultados obtenidos y los desafíos que enfrenta.*

*El estudio se propone explorar cómo la IA está revolucionando la industria cafetalera, con un enfoque en mejorar la eficiencia, calidad y sostenibilidad. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica que analizó 23 artículos científicos relacionados con la producción de café. Estos artículos fueron seleccionados a través de una búsqueda exhaustiva en*

*bases de datos académicas y revistas enfocadas en IA y café. La metodología incluyó un análisis comparativo para identificar tendencias y similitudes en la literatura relacionada con el café.*

*Los resultados del estudio revelaron que la IA está teniendo un impacto significativo en varios aspectos clave de la producción de café. Esto incluye la optimización de la cosecha mediante técnicas de visión artificial y redes neuronales, la mejora de la calidad del café a través de la clasificación y selección de granos con IA, la detección temprana de enfermedades en las*

**plantas de café, la predicción y planificación basada en algoritmos predictivos, y la promoción de prácticas sostenibles en la industria cafetalera. En la conclusión, se advierte que a pesar de estos avances prometedores México enfrenta desafíos importantes, como la accesibilidad a la tecnología de IA, la necesidad de una integración cultural adecuada y las implicaciones éticas en la producción de café asistida por IA. Estos desafíos deben abordarse de manera proactiva para garantizar que la implementación de la IA sea exitosa y sostenible.**

**PALABRAS CLAVE:** café, producción artesanal, inteligencia artificial.

**ABSTRACT:** *In the article examined, the application of Artificial Intelligence (AI) in coffee production is addressed, highlighting its objectives, the methods used, the results obtained and the challenges faced.*

*The study sets out to explore how AI is revolutionizing the coffee industry, with a focus on improving efficiency, quality and sustainability. To do this, a bibliographic review was carried out that analyzed 23 scientific articles related to coffee production. These articles were selected through an exhaustive search of academic databases and journals focused on AI and coffee. The methodology included a comparative analysis to identify trends and similarities in coffee-related literature.*

*The study results revealed that AI is having a significant impact on several key aspects of coffee production. This*

**includes crop optimization using computer vision techniques and neural networks, improving coffee quality through AI-powered sorting and selection of beans, early detection of diseases in coffee plants, prediction and planning. based on predictive algorithms, and the promotion of sustainable practices in the coffee industry.**

***In the conclusion, it is noted that despite these promising advances, Mexico faces important challenges, such as accessibility to AI technology, the need for adequate cultural integration, and the ethical implications in AI-assisted coffee production. These challenges must be addressed proactively to ensure that AI implementation is successful and sustainable.***

**KEYWORDS:** coffee, artisanal production, artificial intelligence.

## INTRODUCCIÓN

La cosecha de café en México es una actividad importante para la economía del país, pero también es un proceso laborioso y susceptible a errores humanos. La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) a la cosecha de café está transformando la industria, mejorando la eficiencia y la calidad del producto final.

El proceso tradicional de cosecha de café es laborioso y susceptible a errores humanos. Los recolectores deben caminar por los cafetales para recolectar las cerezas de café maduras, un proceso que puede ser agotador y peligroso. Además, los recolectores pueden cometer errores al recolectar cerezas verdes o podridas, lo que puede afectar la calidad del café.

En este sentido, la IA está desempeñando un papel transformador en la industria del café, mejorando la calidad del producto final y

promoviendo la sostenibilidad en la industria. Asimismo, puede ayudar a reducir el desperdicio de café, mejorar la seguridad de los recolectores y aumentar los ingresos para los productores de café.

Por lo tanto, en este estudio se explora diversas técnicas de IA, como la visión artificial, el aprendizaje profundo y las redes neuronales, están siendo empleadas para mejorar la eficiencia y la calidad de la cosecha de café. Finalmente, el objetivo de esta revisión es destacar cómo la IA está revolucionando la producción de café en México, mejorando la calidad del producto final y promoviendo la sostenibilidad en la industria.

## METODOLOGÍA

Este estudio se apoyó en una revisión bibliográfica que incluyó la evaluación de 23 artículos científicos relacionados con la producción de café. Estos artículos fueron seleccionados mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas, repositorios y revistas que están enfocadas en IA y en el mundo del café.

Se dio preferencia a los artículos que abordaban la aplicación de la IA en el contexto de la producción cafetalera. Para analizar y sintetizar los hallazgos de cada artículo, se implementó una metodología de análisis comparativo, lo que permitió identificar tendencias, similitudes y diferencias en la literatura relacionada con el café.

Los criterios de inclusión se centraron en investigaciones empíricas y revisiones sistemáticas que ofrecieran perspectivas claras sobre la implementación y el impacto de estas tecnologías en las plantaciones de café. Se prestó especial atención a los estudios que destacaban la interacción entre la IA y la producción del café, así como aquellos que discutían las implicaciones para el desarrollo de la tecnología del sector cafetalero.

## RESULTADOS

### Inteligencia artificial en la optimización de la cosecha de café

La optimización de la cosecha de café es un componente crítico en la cadena de producción y la tecnología de IA está emergiendo como una herramienta transformadora en este ámbito. A través de la implementación de diversas técnicas de IA, desde la visión artificial hasta el aprendizaje profundo, los productores de café en México están encontrando maneras innovadoras de mejorar la eficiencia y la calidad de su cosecha.

En [1] se presentan diferentes sistemas de visión artificial que pueden inspeccionar y clasificar granos de café verde, lo que es esencial para determinar el momento óptimo de cosecha. Este tipo de tecnología permite a los agricultores identificar los granos maduros y de calidad superior, asegurando que solo los mejores granos sean seleccionados para la venta y procesamiento.

De otra forma, [2] llevaron la visión artificial un paso más allá, utilizando redes neuronales para el reconocimiento de frutos de café. Esta tecnología no solo puede diferenciar entre granos maduros e inmaduros, sino que también puede predecir el rendimiento de la cosecha, lo que permite a los agricultores planificar mejor y optimizar sus recursos.

La investigación de [3] sobre la evaluación del grado de tostado del café mediante narices electrónicas y redes neuronales artificiales puede ser indirectamente relevante para la cosecha, ya que proporciona información valiosa sobre la calidad del café que puede retroalimentar el proceso de cosecha para ajustar las técnicas de recolección y tratamiento post cosecha.

El mapeo de plantaciones de café con imágenes de satélite, como se investigó en [4], puede ser una herramienta poderosa para la optimización de la cosecha. Al proporcionar una visión detallada de las plantaciones, los productores pueden identificar áreas que

requieren atención especial o que están listas para la cosecha, maximizando así la eficiencia del uso de la tierra y los recursos.

El análisis de [5] sobre las limitaciones y oportunidades en la producción de café proporciona un contexto más amplio sobre cómo la IA puede abordar desafíos similares en México, incluyendo la optimización de la cosecha a través de la gestión de datos y la predicción analítica.

Por último, aunque el modelo de [6] se enfoca en la fermentación oscura de residuos de mucílago de café, el uso de redes neuronales y lógica difusa para modelar este proceso puede ofrecer perspectivas sobre la gestión de subproductos de la cosecha, lo que a su vez puede mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la producción de café.

En conjunto, estos estudios indican que la IA tiene un potencial significativo para optimizar la cosecha de café en México. Al integrar estas tecnologías, los productores pueden mejorar la selección de granos, predecir el rendimiento de la cosecha, y gestionar de manera más eficiente sus recursos, lo que resulta en una producción de café más sostenible y de mayor calidad.

### **Desafíos de la inteligencia artificial en la producción de café**

La IA está emergiendo como una fuerza transformadora en la producción artesanal del café en México, un país con una rica tradición cafetalera. La integración de la IA en este sector promete revolucionar tanto la eficiencia como la calidad del café producido. Sin embargo, la adopción de estas tecnologías viene acompañada de desafíos significativos que deben ser cuidadosamente manejados.

La innovación de cultivos mediante IA es una de las ventajas más destacadas. Herramientas de análisis de datos pueden predecir las condiciones óptimas para la siembra y cosecha, lo que se traduce en un aumento en la producción y mejora de la calidad del café. [7] destacan que la implementación de

tecnologías que mejoran los rendimientos de los cultivos es novedosa y necesaria. Además, la IA puede desempeñar un papel crucial en el control de calidad, donde sistemas automatizados pueden monitorear y clasificar los granos de café, asegurando un estándar de calidad constante, como se discute en la obra de [8].

Por otro lado, la IA también puede ayudar a los productores a navegar por los mercados volátiles. Algoritmos predictivos pueden proporcionar a los agricultores información valiosa sobre las tendencias de precios, lo que les permite planificar mejor y tomar decisiones informadas sobre la venta de su producto. [9] muestran cómo la IA puede ser utilizada para predecir el rendimiento del café, lo que indirectamente puede influir en las decisiones de mercado.

No obstante, la implementación de la IA en la producción de café enfrenta varios desafíos. La accesibilidad es uno de ellos, ya que la adopción de estas tecnologías requiere de inversiones significativas y conocimientos técnicos que no todos los productores poseen. Además, [10] señalan que la brecha tecnológica es un obstáculo importante que debe superarse para democratizar el acceso a estas herramientas.

Otro desafío es la integración cultural. La IA debe incorporarse de manera que respete y complemente las prácticas tradicionales de producción de café. Es crucial que la tecnología no desplace el conocimiento local, sino que se utilice para enriquecer los métodos existentes. Además, la sostenibilidad es un factor importante; la IA debe promover prácticas de producción que sean amigables con el medio ambiente y no exacerben los problemas ambientales existentes.

La IA tiene el potencial de mejorar significativamente la producción de café en México. Sin embargo, es esencial que los desafíos se aborden de manera proactiva para garantizar que la implementación de la IA sea exitosa y sostenible. La clave será encontrar un

equilibrio entre la innovación tecnológica y la preservación de las ricas tradiciones cafetaleras de México.

### **Uso de la inteligencia artificial en el proceso de producción del café**

La inteligencia artificial ha sido utilizada en diferentes etapas del proceso de producción del café:

#### *a. Clasificación de granos de café*

La clasificación y selección de granos de café mediante IA es un campo emergente que promete transformar la industria cafetalera. La IA ofrece herramientas avanzadas para mejorar la calidad del café, optimizar la producción y enfrentar los desafíos de la selección manual, que es laboriosa y propensa a errores.

Un estudio destacado en este campo es el desarrollo de un algoritmo clasificador bayesiano iterativo de código abierto para la evaluación de la calidad de granos de café procesados. Este algoritmo utiliza la forma y el color para identificar defectos, logrando una precisión global del 76% y un coeficiente Kappa de 0,6, lo que indica una mejora significativa sobre la clasificación aleatoria [11]. Además, se ha diseñado una máquina automatizada para la clasificación de granos de café verde por tamaño y defectos, dirigida a pequeñas agroindustrias. Este sistema no solo clasifica los granos por tamaño, sino que también utiliza algoritmos de visión artificial para diferenciar entre granos buenos y defectuosos, con una precisión del 96% y 80% respectivamente [12].

La integración de un brazo robótico Scara Epson con un clasificador basado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN) ha permitido la creación de un sistema automático de selección de granos de café. Este sistema ha demostrado ser efectivo en la identificación de granos de café con alteraciones de forma y

color, alcanzando una efectividad del 100% en ciertos rangos de separación entre granos [13]. Estos avances son solo algunos ejemplos del potencial de la IA en la industria del café. La capacidad de la IA para procesar y analizar grandes cantidades de datos puede llevar a una selección de granos más precisa, lo que resulta en un producto final de mayor calidad y una cadena de suministro más eficiente.

#### *b. Detección de enfermedades en plantas de café.*

La tecnología de IA está revolucionando la detección de enfermedades en las plantas de café, ofreciendo soluciones innovadoras que pueden ayudar a los agricultores a identificar y tratar problemas de manera más eficiente y efectiva. Esta recopilación de información examina cómo la IA está siendo aplicada para mejorar la salud de las diversas variedades de plantas y que se puede aplicar a los plantíos de café.

La detección temprana de enfermedades en las plantas de café es crucial para mantener la sostenibilidad de esta industria en México. La IA ofrece herramientas avanzadas para el diagnóstico preciso y rápido de enfermedades, lo que puede resultar en tratamientos más efectivos y una reducción en el uso de pesticidas [14]. Por ejemplo, técnicas como las redes neuronales convolucionales y el aprendizaje profundo han demostrado ser efectivas en la identificación de enfermedades en cultivos como el maíz, el trigo y el café [15]. En México, la implementación de la IA en la agricultura aún enfrenta desafíos significativos, como la falta de infraestructura y acceso a tecnologías avanzadas, especialmente en áreas rurales donde la producción de café es prominente [16]. Sin embargo, los esfuerzos para superar estas barreras están en marcha, y se han desarrollado sistemas de soporte de decisiones basados en IA para ayudar a los agricultores a identificar enfermedades de las plantas con mayor precisión [17].

La IA también puede jugar un papel importante en la educación y capacitación de los agricultores, proporcionando acceso a información y recursos que antes no estaban disponibles. Esto es particularmente relevante en México, donde la transferencia de conocimiento puede ser un obstáculo para la adopción de nuevas tecnologías.

A pesar de estos desafíos, la IA tiene el potencial de transformar la detección de enfermedades en las plantas de café en México, ofreciendo una ruta hacia una producción más sostenible y eficiente. Con inversiones continuas en investigación y desarrollo, y un enfoque en la superación de barreras tecnológicas y educativas, la IA puede ayudar a asegurar un futuro próspero para la industria del café en México.

*c. Mejora en la calidad del café.*

La calidad del café mexicano es un aspecto crucial que determina su valor en el mercado global. Con la integración de la Inteligencia Artificial (IA), los productores de café en México han comenzado a experimentar mejoras significativas en la clasificación y selección de granos, lo que a su vez impacta positivamente en la calidad del producto final. La IA ofrece una serie de ventajas en este proceso, incluyendo la precisión en la selección de granos, la eficiencia en la detección de defectos y la capacidad de predecir la calidad del café basada en datos complejos.

Un estudio relevante en este campo es el de [7], que destaca la necesidad de implementar tecnologías como la IA para mejorar los rendimientos de los cultivos y la calidad del café. Los autores sugieren que, aunque la maquinaria de producción es robusta y conocida por los productores, las tecnologías de laboratorio para medir las cualidades fitoquímicas del café deben ser refinadas para garantizar resultados consistentes.

Por otro lado, [19] han aplicado algoritmos de IA para clasificar el nivel de madurez de los granos de café durante el tueste. Utilizando segmentación de imagen y características de

color, han desarrollado un modelo de Red Neuronal Convolutiva (CNN) que se implementa en dispositivos móviles para detectar el tipo de grano de café que se está tostando, logrando una precisión promedio del 85.83%.

Además, la investigación de dos Santos et al. ha demostrado que la visión por computadora combinada con algoritmos de aprendizaje automático como Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), Redes Neuronales Profundas (DNN) y Bosques Aleatorios (RF) pueden identificar y clasificar defectos en los granos de café con una precisión superior al 90%, resaltando la importancia de los descriptores de color en este proceso [20].

[21] han propuesto un sistema inteligente para la clasificación automática de granos de café por nivel de tueste o calidad. Este sistema utiliza una CNN y visión por computadora para discernir la calidad de los granos, lo que podría reducir considerablemente los costos de mano de obra y mejorar la uniformidad de los resultados.

Estos avances en IA aplicados a la producción de café en México no están exentos de desafíos. La adopción de estas tecnologías requiere una inversión inicial significativa y una curva de aprendizaje para los productores. Además, la infraestructura tecnológica necesaria para soportar sistemas de IA avanzados puede ser una barrera, especialmente en regiones rurales donde el acceso a la tecnología es limitado.

La IA está desempeñando un papel transformador en la mejora de la calidad del café. A través de la precisión en la selección de granos y la eficiencia en la detección de defectos, la IA tiene el potencial de elevar la reputación del café mexicano en el mercado mundial, siempre y cuando los desafíos asociados con su implementación puedan ser superados.

## Inteligencia artificial: ética en la producción de café

La ética en la producción de café asistida por IA es un tema emergente que aborda las implicaciones morales y las responsabilidades asociadas con la implementación de tecnologías avanzadas en la agricultura. A medida que la IA se integra en la producción de café, surgen preguntas sobre la distribución de la responsabilidad ética, la seguridad de los sistemas de IA y la alineación de los valores de la IA con los humanos [22].

Un análisis bibliométrico mundial sobre publicaciones de IA y ética revela que, aunque el interés en la ética de la IA ha crecido significativamente, la mayoría de la investigación proviene de países desarrollados, con Estados Unidos liderando en número de publicaciones [23]. Esto plantea la cuestión de si los marcos éticos desarrollados en estos contextos son aplicables y sensibles a las necesidades y valores de los productores de café en México, donde las condiciones socioeconómicas y culturales pueden diferir marcadamente.

Los profesionales de la IA reconocen la necesidad de distribuir la responsabilidad ética entre una gama de actores, incluidos ellos mismos, aunque sus capacidades para influir en los resultados éticos son a menudo limitadas por desequilibrios de poder y experiencia técnica. Esto es particularmente relevante en la producción de café, donde los agricultores pueden tener poco control sobre la tecnología que utilizan.

La ética de la IA también se enfrenta al desafío de desarrollar sistemas que retengan valores humanos amigables, incluso bajo la mejora recursiva de sí mismos [24]. En el contexto de la producción de café, esto podría significar desarrollar sistemas de IA que promuevan prácticas sostenibles y justas, respetando las tradiciones y el bienestar de las comunidades locales.

Además, la ética de la IA en la producción de café debe considerar las consecuencias

legales y morales de la implementación de tecnologías de IA. Esto incluye la preocupación por la seguridad laboral de los trabajadores y el impacto de la automatización en el empleo local.

La ética en la producción de café asistida por IA en México debe ser una consideración integral, que requiere un enfoque colaborativo y multidisciplinario para garantizar que la tecnología se implemente de manera que respete y mejore las vidas de todos los involucrados en la cadena de producción del café.

## Análisis de la revisión

La actualización de la tecnología de IA en la producción de café ha demostrado ser altamente beneficiosa en varios aspectos clave. A través de la revisión de estudios relevantes, se han identificado diversas áreas en las que la IA está teniendo un impacto positivo:

1. Optimización de la Cosecha: La IA, mediante técnicas como la visión por computadora y las redes neuronales, ha permitido a los productores identificar y cosechar granos de café maduros y de alta calidad, mejorando la eficiencia y la calidad de la cosecha [1,2].
2. Mejora de la Calidad: La IA ha demostrado ser eficaz en la clasificación y selección de granos de café, lo que conduce a una mejora en la calidad del producto final [11-13].
3. Detección de Enfermedades: La IA se está utilizando para detectar enfermedades en las plantas de café de manera temprana, lo que puede ayudar a los agricultores a tomar medidas preventivas y reducir la necesidad de pesticidas [14-16].
4. Predicción y Planificación: Algoritmos predictivos basados en IA proporcionan información sobre las tendencias de precios y el rendimiento de la cosecha,

lo que ayuda a los agricultores a tomar decisiones informadas [7,9].

5. Sostenibilidad: La IA también está contribuyendo a prácticas más sostenibles en la producción de café al optimizar el uso de recursos y promover prácticas amigables con el medio ambiente [4,18].

Sin embargo, implementar la IA en la producción de café enfrenta desafíos significativos, como la accesibilidad a estas tecnologías, la necesidad de adaptarse a las prácticas tradicionales, y la ética en su aplicación. Es esencial abordar estos desafíos de manera proactiva para garantizar una implementación exitosa y sostenible de la IA en la producción de café mexicano [10,22].

Como resultado, la IA tiene un potencial significativo para transformar la producción de café en México al mejorar la calidad, la eficiencia y la sostenibilidad. Sin embargo, es necesario abordar cuidadosamente los desafíos éticos y técnicos para garantizar un equilibrio entre la innovación tecnológica y la preservación de las tradiciones cafetaleras del país.

Tabla 1. Matriz de resultados

Tipo de Técnica de IA	Implementación de IA	Resultados
Visión por Computadora	Inspección y clasificación de granos de café verde.	Identificación de granos maduros y de alta calidad para cosecha.
	Identificación y clasificación de defectos en granos de café.	Identificación y clasificación precisa de defectos en granos de café.
	Mapeo de plantaciones de café.	Identificación de áreas listas para la cosecha y maximización de recursos en la producción.
Redes Neuronales	Reconocimiento de frutos de café.	Diferenciación entre granos maduros e inmaduros y predicción del rendimiento de la cosecha.
	Clasificación automática de granos de café por calidad.	Reducción de costos de mano de obra y mejora de la uniformidad en la

		clasificación de granos de café.
Narices Electrónicas	Evaluación del grado de tostado del café.	Información sobre la calidad del café para ajustar técnicas de recolección y tratamiento post-cosecha.
Imágenes de Satélite	Mapeo de plantaciones de café.	Identificación de áreas listas para la cosecha y maximización de recursos en la producción.
Análisis de Datos	Gestión de datos y predicción analítica en producción de café.	Contexto amplio sobre cómo la IA puede abordar desafíos en la producción de café en México.
	Revisión de tecnologías en la producción de café.	Reconocimiento de la necesidad de implementar tecnologías de IA para mejorar los rendimientos de los cultivos y la calidad del café.
Algoritmos Predictivos	Control de calidad automatizado.	Discusión sobre la implementación de sistemas automatizados para monitorear y clasificar granos de café.
	Predicción del rendimiento del café.	Uso de IA para predecir el rendimiento de la cosecha y su influencia en las decisiones de mercado.
Ultrasound y Fuzzy Logic	Mejora de sistemas de selección de granos de café.	Optimización de la selección de granos a través de tecnologías basadas en IA.
Redes Neuronales Convolucionales y Visión por Computadora	Clasificación automática de granos de café por calidad.	Reducción de costos de mano de obra y mejora de la uniformidad en la clasificación de granos de café.
Aprendizaje Profundo	Detección de enfermedades en plantas de café.	Identificación temprana de enfermedades en plantas de café y reducción en el uso de pesticidas

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 1 presenta una síntesis de los resultados de diversos estudios que aplican IA en la producción de café. Está organizada por tipo de técnica de IA utilizada, su implementación y los logros alcanzados. Las

técnicas incluyen visión por computadora para la clasificación y detección de defectos en granos, redes neuronales para el reconocimiento de frutos y la clasificación de granos, narices electrónicas para evaluar el grado de tostado, imágenes de satélite para el mapeo de plantaciones, análisis de datos para gestión y predicción, algoritmos predictivos para control de calidad y predicción de rendimiento, y sistemas basados en ultrasonido y lógica difusa para la mejora de la selección de granos. Estos resultados demuestran cómo la IA está transformando positivamente la producción de café mexicano, mejorando la calidad y eficiencia en varios aspectos del proceso.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la IA en la producción de café ha demostrado ser una revolución con un potencial significativo para transformar la industria cafetalera. A lo largo de esta revisión, hemos explorado cómo diversas técnicas de IA, como la visión por computadora, el aprendizaje profundo y las redes neuronales, están siendo utilizadas para mejorar la eficiencia y la calidad de la cosecha de café. Estos avances están cambiando la forma en que los productores abordan la selección de granos, la predicción del rendimiento de la cosecha, la detección de enfermedades en las plantas y la mejora de la calidad del café, lo que a su vez puede influir en la reputación y el valor del café mexicano en el mercado global.

Además, la IA ofrece una herramienta poderosa para predecir el rendimiento de la cosecha. La implementación de algoritmos predictivos puede proporcionar a los agricultores información valiosa sobre las condiciones óptimas para la siembra y la cosecha, lo que les permite planificar mejor y tomar decisiones informadas. Esta capacidad de previsión puede tener un impacto significativo en la eficiencia de la gestión de recursos y en la planificación a largo plazo.

Otro campo en el que la IA está haciendo una diferencia importante es en la detección de enfermedades en las plantas de café. La detección temprana de enfermedades es crucial para mantener la sostenibilidad de la industria cafetalera en México. Las técnicas de IA, como las redes neuronales convolucionales y el aprendizaje profundo, han demostrado ser efectivas en la identificación precisa y rápida de enfermedades en los cultivos de café. Esto no solo reduce la necesidad de pesticidas, sino que también permite tratamientos más efectivos y oportunidades de control de plagas más eficientes.

A pesar de estos avances significativos, la implementación de la IA en la producción de café no está exenta de desafíos. La accesibilidad a estas tecnologías es un obstáculo importante, ya que la adopción de la IA requiere inversiones significativas y conocimientos técnicos que no todos los productores poseen. La brecha tecnológica debe superarse para democratizar el acceso a estas herramientas y garantizar que los beneficios de la IA se extiendan a todos los niveles de la industria cafetalera en México.

En conclusión, la IA está revolucionando la producción de café, mejorando la calidad del producto final, aumentando la eficiencia en la cosecha y la gestión de recursos, y ofreciendo soluciones innovadoras en la detección de enfermedades en las plantas. Sin embargo, es esencial abordar los desafíos tecnológicos, culturales y éticos que se presentan en este camino hacia la mejora de la industria cafetalera mexicana. Con una inversión continua en investigación y desarrollo, y un enfoque en la superación de barreras tecnológicas y educativas, la IA tiene el potencial de asegurar un futuro próspero y sostenible para la industria del café en México, manteniendo al mismo tiempo sus ricas tradiciones cafetaleras.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. I. García, J. Candelo-Becerra y A. Hoyos, "Quality and Defect Inspection of Green Coffee Beans Using a Computer Vision System," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 19, p. 4195, 2019.
- [2] M. Serrano Fuentes, N. A. Lizardo Zelaya y J. L. Ordoñez Avila, "Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and Neural Networks," *ICCRE*, pp. 1-5, 2020.
- [3] S. Romani, C. Cevoli, A. Fabbri, L. Alessandrini y M. Dalla Rosa, "Evaluation of coffee roasting degree by using electronic nose and artificial neural network for off-line quality control," *Journal of Food Science*, vol. 77, no. 9, pp. C957-C963, 2012.
- [4] M. Ortega-Huerta, O. Komar, K. Price y H. Ventura, "Mapping coffee plantations with Landsat imagery: an example from El Salvador," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, no. 6, pp. 1728-1750, 2012.
- [5] T. Tadesse, B. Tesfaye y G. Abera, "Coffee production constraints and opportunities at major growing districts of southern Ethiopia," *Cogent Food & Agriculture*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [6] E. L. Moreno Cárdenas, A. D. Zapata-Zapata y D. Kim, "Modeling Dark Fermentation of Coffee Mucilage Wastes for Hydrogen Production: Artificial Neural Network Model vs. Fuzzy Logic Model," *Energies*, vol. 13, no. 7, p. 1663, 2020
- [7] M. E. Perdomo, I. Magomedov, O. Anokhina, "Literary Review: Coffee Technologies," *Bioconf*, 2023. Disponible en: [https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/02/bioconf\\_itsm2023\\_05003.pdf](https://www.bioconferences.org/articles/bioconf/pdf/2023/02/bioconf_itsm2023_05003.pdf).
- [8] O. Vergara-Villegas, M. Nandayapa, J. H. Sossa Azuela, E. M. C. Franco, G. R. Linares, "Introduction to the Thematic Issue on Artificial Intelligence for Industry 4.0," *Computación y Sistemas*, vol. 25, no. 4, 2021. Enlace al artículo.
- [9] C. S. Santhosh, K. Umesh, "A Compendium Probabilistic Prospective for Predicting Coffee Crop Yield Based on Agronomical Factors," 2022. Enlace al artículo.
- [10] Nova El Maidah, Christian Dwi Suhendra, "Enhanced Efficiency of Coffee Fruit Ripe Sorting System through Ultrasound-based Optimization and Fuzzy Logic," *JISTECH*, vol. 12, no. 1, 2023. Enlace al artículo.
- [11] F. Santos et al., "Open Source Iterative Bayesian Classifier Algorithm for Quality Assessment of Processed Coffee Beans," *Nativa*, vol. 8, no. 1, 2020. [En línea]. Disponible: PDF
- [12] G. Susanibar et al., "Development of an Automated Machine for Green Coffee Beans Classification by Size and Defects," *JOAAT*, vol. 8, no. 1, pp. 17-24. [En línea]. Disponible: DOI
- [13] C. A. Calderon et al., "Convolutional Neural Network and Industrial Robot Arm applied to an automatic coffee bean selection system," 2022. [En línea]. Disponible: DOI
- [14] J. H. Kamdar et al., "Artificial intelligence for plant disease detection: past, present, and future," 2021, DOI: 10.1515/9783110691276-011.
- [15] Q. Rawal et al., "Plant Leaf Disease Detection and Smart Spraying Robot using Artificial Intelligence for Precision Agriculture," 2022, DOI: 10.22214/ijraset.2022.43649.

[16] S. Shilaskar et al., "Artificial Intelligence based Crop Recommendation and Plant Leaf Disease Detection System," 2022, DOI: 10.1109/incet54531.2022.9824002.

[17] B. Biswal and S. Chestnut, "DeepTrac: Applying Artificial Intelligence in Plant Disease Detection," 2022, DOI: 10.1109/SoutheastCon48659.2022.9763917.

[18] D. H. Suryana y W. K. Raharja, "Applying Artificial Intelligence to Classify the Maturity Level of Coffee Beans During Roasting," IJESTY, vol. 3, no. 2, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ijesty.org/index.php/ijesty/article/download/461/264>.

[19] F. F. L. dos Santos et al., "Quality assessment of coffee beans through computer vision and machine learning algorithms," Coffeescience, vol. 15, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/download/1752/2272>.

[20] G. Vilcamiza, N. Trelles, L. Vincés, y J. Oliden, "A coffee bean classifier system by roast quality using convolutional neural networks and computer vision implemented in an NVIDIA Jetson Nano," CONIITI, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1109/CONIITI57704.2022.9953636>.

[21] W. Orr y J. L. Davis, "Attributions of ethical responsibility by Artificial Intelligence practitioners," Information, Communication & Society, vol. 23, no. 5, pp. 673-689, 2020. Enlace

[22] C.-W. Chuang et al., "A Worldwide Bibliometric Analysis of Publications on Artificial Intelligence and Ethics in the Past

Seven Decades," Sustainability, vol. 14, no. 18, p. 11125, 2022. Enlace

[23] V. Leonov, Y. Kashtanova y A. Lobacheva, "Ethics of Artificial Intelligence: Problems and Initiatives in the Social Environment," Journal of Legal and Economic Research, vol. 10, no. 2, pp. 5-12, 2021. Enlace

## Caracterización de la cadena logística inversa para los residuos plásticos y la aplicación para su gestión en México.

García Cruz Romeo<sup>1</sup>  
222t0507@itsm.edu.mx

Reyes González David<sup>2</sup>  
dreyesg@itsm.edu.mx

Borroto Pentón Yodaira<sup>3</sup>  
yborrotop@itsm.edu.mx

Rodríguez Martínez Guadalupe<sup>4</sup>  
grodriguez@itsm.edu.mx

Fernández Pentón Yensy<sup>5</sup>  
232t0020@itsm.edu.mx

Contacto:  
dreyesg@itsm.edu.mx  
235 114 7915

Área(s) temática: **Sustentabilidad**

<sup>1</sup> Maestro en Ingeniería Industrial, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

<sup>2</sup> Doctor en Ciencia e Ingeniería de Materiales, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

<sup>3</sup> Doctora en Ciencias, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

<sup>4</sup> Maestra en Ciencias, Ingeniería Petrolera, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

<sup>5</sup> Licenciada en Estudio Socioculturales, Maestría en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla;

**RESUMEN:** *En México la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), estima que en todo el territorio nacional se consumen hasta 5.9 millones de toneladas de plástico al año y solo el 6% de estos residuos logra reciclarse. Para disminuir el problema de contaminación actual, se han creado alrededor del mundo regulaciones que procuran disminuir la generación de*

*plásticos, la gestión y correcta disposición de estos, con estrategias que buscan la circularidad de la industria del plástico. El objetivo principal de este trabajo es caracterizar la cadena logística inversa de los residuos plásticos en México y como esta se aplica para la gestión de los mismo. Mediante un análisis descriptivo se plantea la identificación de los*

**agentes participantes en el reciclaje de plásticos en México y su aporte a la gestión de los residuos. La caracterización de la cadena logística inversa para la gestión de los residuos plásticos realizada en este trabajo brinda un panorama completo de la deficiencia en cuanto a la gestión de este tipo de residuos y la escasa aplicabilidad de las bases de la economía circular en industrias del plástico. A nivel nacional, a pesar de funcionar de manera rudimentaria y con deficiencias, la cadena logística inversa que existe en México para el reciclaje y manejo de residuos plásticos, genera índices favorables para la gestión de residuos; sin embargo, de ser replicadas a escalas más pequeñas podrían obtenerse mejores estadísticas.**

**PALABRAS CLAVE:** logística inversa, residuos plásticos, gestión de residuos, reciclaje de plásticos, cadena de valor

**ABSTARCT:** *In Mexico, the National Association of Plastic Industries (ANIPAC) estimates that up to 5.9 million tons of plastic are consumed annually throughout the national territory and only 6% of this waste is recycled. To reduce the current pollution problem, regulations have been created around the world that seek to reduce the generation of plastics, the management and correct disposal of these, with strategies that seek the circularity of the plastics industry. The main objective of this work is to characterize the reverse logistics chain of plastic waste in Mexico and how it is applied to its management. A descriptive analysis is used to identify the agents involved in*

**plastics recycling in Mexico and their contribution to waste management. The characterization of the reverse logistics chain for the management of plastic waste carried out in this work provides a complete overview of the deficiency in terms of the management of this type of waste and the scarce applicability of the bases of the circular economy in plastics industries. At the national level, despite operating in a rudimentary manner and with deficiencies, the reverse logistics chain that exists in Mexico for the recycling and management of plastic waste generates favorable indices for waste management; However, replicating them on smaller scales could yield better statistics.**

**KEYWORDS:** reverse logistics, plastic waste, waste management, plastics recycling, value chain

## **INTRODUCCIÓN**

Actualmente a nivel mundial se producen millones de toneladas de plástico que se utilizan para la satisfacción de las necesidades humanas [1]. Aunque el plástico tiene diferentes aplicaciones, los de un solo uso son los más utilizados, por su bajo costo y practicidad, lo que ha generado una cultura de desecho y de mal manejo de residuos [2]. Esto deriva en bajos índices de reciclaje y como consecuencia en contaminación, porque regularmente los residuos plásticos terminan en vertederos a cielo abierto o en el ecosistema generando problemas mayores [3].

En México la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), estima que en todo el territorio nacional se consumen hasta 5.9 millones de toneladas de plástico al año y solo el 6% de estos residuos logra reciclarse [4]. Del total de consumo de plástico el 45% equivale a plástico de envases y embalajes [5]

Para disminuir el problema de contaminación actual, se han creado alrededor del mundo regulaciones que procuran disminuir la generación de plásticos, la gestión y correcta disposición de estos, con estrategias que buscan la circularidad de la industria del plástico. El reciclaje sin duda es una de las alternativas para el manejo adecuado de este tipo de residuos [6].

El reciclaje de plásticos en México lo encabeza el tereftalato polietileno (PET) con un 49%, siendo este el mayor índice de recuperación de residuos plásticos en México [7], según datos del segundo informe del Acuerdo Nacional para la nueva economía del plástico, al PET le siguen el policloruro de vinil (PVC) con 41%, el polietileno de baja densidad (PEBD) con 32% y por último el polietileno de alta densidad (PEAD) con 22% de recuperación [8].

La cultura del reciclaje en México es escasa. Las actividades que implica el reciclaje, como la recolección de los residuos es realizada por los llamados pepenadores, mientras que la limpieza y procesamiento de los residuos se realiza

en empresas privadas que llevan a cabo sus procedimientos de acuerdo con sus capacidades. Estos factores frenan el avance en materia de sustentabilidad e impiden la integración de los agentes participantes para lograr aumentar los índices de reciclaje ya que no existe una responsabilidad social por parte de las industrias encargadas de la producción o distribución de productos plásticos [9].

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar la cadena logística inversa de los residuos plásticos en México y como esta se aplica para la gestión de los mismo. Mediante un análisis descriptivo se plantea la identificación de los agentes participantes en el reciclaje de plásticos en México y su aporte a la gestión de los residuos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada para este trabajo es una metodología descriptiva, considerando información recolectada de medios digitales tales como, bases de datos, repositorios, así como, información proporcionada por órganos gubernamentales.

A continuación, se presenta información necesaria para la comprensión del funcionamiento de cadena logística inversa y su relación con la gestión de residuos, así como la información de los diferentes agentes que en México la integran.

En primer lugar, un concepto del que se debe partir es el de cadena logística, también conocida como cadena de valor;

esta es un conjunto de actividades de planificación, abastecimiento, producción y logística, que ayudan a gestionar los flujos de materiales e información desde el primer proveedor hasta el consumidor final [10].

Por su parte, la logística inversa es un proceso que implica la optimización del flujo inverso de productos y sus empaques, llevándolos desde su generación con los consumidores finales de la cadena de valor, hasta el inicio de esta mediante estrategias de reutilización, reparación, restauración, remanufactura y reciclado de materias primas [11].

En ocasiones la logística inversa suele confundirse con la logística verde. La principal diferencia entre ambas es que la logística inversa considera aspectos ambientales de los procesos logísticos en general, mientras que la logística verde se orienta a la gestión adecuada de los recursos, a controlar la emisión de contaminantes, contaminación sonora y deposición de residuos. Es decir, mientras la logística inversa se encarga de problemas en empresas que no consideran procesos ecológicos desde el inicio, la logística verde contribuye directamente a la conservación del planeta [12].

En este contexto, la cadena de valor de la industria del plástico podría definirse en pocas etapas de producción y procesamiento de manera general: (1) extracción y preparación de las materias primas; (2) producción de los polímeros; (3) procesamiento final a productos plásticos; y (4) distribución para llegar al consumidor

final. Sin embargo, para cada tipo de plástico específico se incorporarían los aditivos y procesos necesarios [13].

Partiendo de la generación de los residuos plásticos tras finalizar su vida útil, la cadena inversa quedaría definida de la siguiente manera: (1) generación de los residuos; (2) recolectores; (3) centro de acopio; (4) industria del reciclaje para generación de nuevos productos / aprovechamiento en otras aplicaciones; y (5) consumidor final [14].

## RESULTADOS

La cadena logística inversa definida anteriormente podría representarse como se muestra a continuación en la figura 1.



Figura 1. Cadena logística inversa del plástico (reciclaje)

Para caracterizar cada uno de los elementos de la cadena inversa a continuación se presenta la información necesaria de cada eslabón de la cadena.

### Generación de los residuos

De acuerdo con la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (ANIPAC), en 2020 el porcentaje de uso de los productos plásticos lo encabezó el polietileno de alta y baja densidad, seguidos por el poliestireno [15]. Esto brinda una idea clara del tipo de residuos plásticos que se generan en México, por otro lado y en cuanto a cantidades, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales declara que en 2023, la generación de residuos plásticos se estima en 59 kg/habitante/año, considerando que actualmente cuenta con aproximadamente

129 millones de habitantes, las cifras son descomunales.

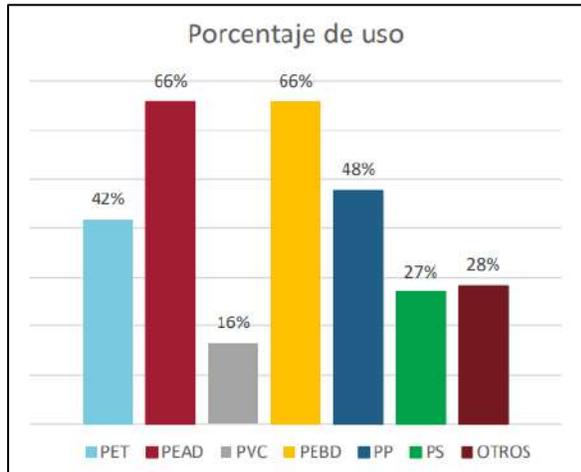


Figura 2. Porcentaje de uso de productos plásticos en México Fuente: ANIPAC, 2020

### Recolectores

La gestión de los residuos en países de primer mundo conlleva una recolección tecnicada y con bases contundentes fincadas en la economía circular, por lo que la recolección de residuos plásticos se encamina a su retorno a la cadena de valor [16]. Sin embargo, en países en desarrollo como lo es México, la gestión de residuos carece de una infraestructura adecuada para lograr el cometido de una gestión integral. El mismo problema se presenta en países similares latinoamericanos.

Por lo anterior, el segundo eslabón de a cadena inversa queda enmarcado en la recolección a cargo de los llamados pepenadores. El trabajo de los recolectores es fundamental para que los residuos logren llegar a integrarse en la cadena logística inversa. De no contar con recolectores primarios como lo son los pepenadores, los índices de reciclaje disminuirían drásticamente. A pesar del arduo trabajo realizado en este punto de la cadena, los pepenadores trabajan bajo

condiciones de precariedad e invisibilidad social [17].

### Centro de acopio

Los centros de acopio de materiales plásticos para el reciclaje son lugares destinados para la concentración de residuos que puedan ser aprovechados para ser separados y comercializados en la industria del reciclaje.

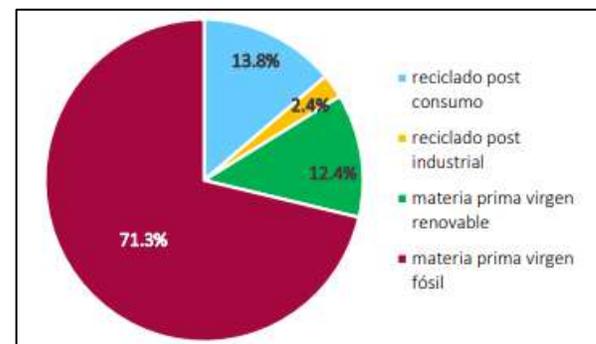


Figura 3. Fuentes de abastecimiento para la elaboración de envases y empaques Fuente: ANIPAC, 2019

De acuerdo con la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México, se cuenta con 419 establecimientos encargados del acopio y procesamiento primario de residuos para su posterior incorporación en la industria del reciclaje.

### Industria del reciclaje para generación de nuevos productos / aprovechamiento en otras aplicaciones

En México, la principal fuente de materia prima para la industria del plástico es la materia prima virgen fósil, seguida de otras fuentes en menor proporción de acuerdo



## REFERENCIAS

- [1] M. Buteler, D. En, and C. Ambientales, “¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos?,” 2020, Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/109678>
- [2] M. Ocampo, ... C. S. C. T. para el Congr., and [8] undefined 2019, “Plásticos en los océanos,” *foroconsultivo.org.mx*, Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: [https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU\\_19-034.pdf](https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_19-034.pdf)
- [3] M. E. Iñiguez, “Estudio de la contaminación marina por plásticos y evaluación de contaminantes derivados de su tratamiento,” Apr. 2019, Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/92547>
- [4] “Reciclaje en México: Solo 6% del plástico que se produce en el país se reutiliza – El Financiero.” Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2022/08/02/reciclaje-en-mexico-solo-6-del-plastico-que-se-produce-en-el-pais-se-reutiliza/>
- [5] ANIPAC, “Industria del plástico en México cierra 2022 con números positivos.” Accessed [11] Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/industria-del-plastico-en-mexico-cierra-2022-con-numeros-positivos>
- [6] Z. Mirella, M. Rosado, A. E. Regato, E [12] Maricela, and C. Avilés, “Contaminación ambiental por desechos plásticos en la ciudad de Babahoyo, Ecuador,” *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, vol. 11, no. Número Especial 2. pp. 43–51, Jul. 21, 2023 [13] Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.uh.cu/revflacso/article/view/7307>
- [7] “Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México | Heinrich-Böll-Stiftung - Ciudad de México | México y el Caribe.” Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural>
- “México en el reciclaje de plásticos - QUIMISOR.” Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <https://quimisor.com.mx/mexico-en-el-reciclaje-de-plasticos/>
- M. Rosas Baños, A. Lilia Gámez, and A. Ii, “Prevención de la generación de residuos en el marco de una economía ecológica y solidaria: un análisis del manejo de residuos en los municipios de México,” *Sociedad y Ambiente*, no. 21, pp. 7–31, Nov. 2019, doi: 10.31840/SYA.V0I21.2036.
- M. de la A. Juárez, “Optimización de la cadena logística,” 2019, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VEC4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=\(de+la+Arada+Ju%C3%A1rez,+2019\)&ots=d3F7bXT9X&sig=Ifel0s3Ks18oyz0OZjTMBVLfcX0](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=VEC4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=(de+la+Arada+Ju%C3%A1rez,+2019)&ots=d3F7bXT9X&sig=Ifel0s3Ks18oyz0OZjTMBVLfcX0)
- P. B. Salazar and P. R. Sánchez, “Propuesta de logística inversa para el aprovechamiento de tapabocas desechables en la elaboración de prótesis,” 2023, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <http://52.0.229.99/handle/20.500.11839/9278>
- G. M. C. Gallegos, M. A. V.-J. M. A. Valenzo-Jiménez, and B. N. Lara, “Estudio bibliométrico comparativo entre la logística inversa y la logística verde,” *CIMEXUS*, vol. 14, no. 2, pp. 153–169, 2019, doi: 10.33110/cimexus140210.
- L. Pittaluga and D. Pirrocco, “Análisis de la cadena de valor del plástico y el caucho en el Uruguay.” CEPAL, Oct. 22, 2021. Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11362/47382>

- [14] D. E. Reciclaje, E. N. Una, E. Recicladora, E. N. La, and C. De Guayaquil, “Propuesta de aplicación de logística inversa en el proceso de reciclaje en una empresa recicladora en la ciudad de Guayaquil,” 2023, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26173>
- [15] D. Plástico, “NUEVA ECONOMÍA Organizaciones que presentan: CONTENIDO”.
- [16] J. E. Black, K. Kopke, and C. O’Mahony, “Towards a Circular Economy: Using Stakeholder Subjectivity to Identify Priorities, Consensus, and Conflict in the Irish EPS/XPS Market,” *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 6834, vol. 11, no. 23, p. 6834, Dec. 2019, doi: 10.3390/SU11236834.
- [17] C. Valente-Santos, Y. José, and A. Guevara-García, “El papel de los pepenadores de materiales reciclables en la gestión de residuos sólidos: los casos de Brasil y México,” *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, Vol. 12, N°. 24, 2019, págs. 87-114, vol. 12, no. 24, pp. 87–114, 2019, Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6980074&info=resumen&idioma=SPA>

## Elaboración de cucharas comestibles como propuesta para disminuir el plástico de un solo uso.

Bertha Yadira Elizondo Nolazco <sup>1</sup>  
belizondo@itlinares.edu.mx

Nancy Patricia Meade Almazán <sup>2</sup>  
nmeade@itlinares.edu.mx

Claudia Cárdenas Vega<sup>3</sup>  
ccardenas@itlinares.edu.mx

Susana del Carmen Torres Morales<sup>4</sup>  
storres@itlinares.edu.mx

Juan Pablo González Elizondo <sup>5</sup>  
l22720104@itlinares.edu.mx

Contacto:  
ccardenas@itlinares.edu.mx  
8211230848

### Sustentabilidad

<sup>1</sup> Maestría, Departamento de Ingeniería, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>2</sup> Maestría, Departamento de Ciencias económico administrativas, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>3</sup> Maestría, Departamento de Ciencias económico administrativas, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>4</sup> Maestría, Departamento de Ciencias económico administrativas, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>5</sup> Estudiante de licenciatura, Departamento de Ingeniería, Instituto Tecnológico de Linares.

### RESUMEN:

**Los cubiertos de plástico de un solo uso se han vuelto especialmente desechables, lo que conduce a la contaminación plástica y la degradación ambiental. Los ejemplos más comunes de cuchillería de plástico que se pueden desechar fácilmente incluyen pajitas, tenedores, vasos, platos, y principalmente las cucharas desechables. En la presente investigación se presenta una propuesta para elaborar cucharas comestibles, con ingredientes de gran**

**aporte nutrimental como por ejemplo el ajonjolí y la harina de arroz. Dichos alimentos contienen fibra, hierro, proteínas y calcio. Las cucharas elaboradas con esta propuesta tienen una duración de alrededor de 10 horas sumergida en agua a 30°C y de 5 días a medio ambiente sin que cambie de color, sabor, aroma o textura.**

**PALABRAS CLAVE: Cuchara comestible, Plástico, Contaminación.**

## ABSTRACT:

***Single-use plastic cutlery has become especially disposable, leading to plastic pollution and environmental degradation. The most common examples of plastic cutlery that can be easily discarded include straws, forks, cups, plates and mainly disposable spoons. In this research, a proposal is presented to make edible spoons, with ingredients with a high nutritional content such as sesame and rice flour. These foods contain fiber, iron, protein and calcium. The spoons made with this proposal last for around 10 hours submerged in water at 30°C and 5 days in the environment without changing color, flavor, aroma or texture.***

**KEYWORDS:** *Edible spoon, Plastic, Pollution.*

## INTRODUCCIÓN

La producción en masa de plásticos, que comenzó hace solo seis décadas, se ha acelerado a tal rapidez que ha creado 8.300 millones de toneladas métricas, la mayoría de ellas productos desechables que acaban como desperdicios. El plástico puede tardar más de 400 años en degradarse, así que la mayoría del material todavía existe en alguna forma. Solo el 12 por ciento ha sido incinerado y solo el 9 por ciento han sido reciclados. Si las tendencias actuales persisten, para 2050 habrá 12 millones de toneladas métricas de plástico en los vertederos. [1]

Asimismo, los microplásticos (partículas plásticas cuyo diámetro es inferior a 5 mm) invaden los alimentos, el agua e incluso el aire. Los productos plásticos de un solo uso que resultan desechados o quemados no solamente perjudican a la salud humana y la biodiversidad, sino que igualmente contaminan todo tipo de ecosistemas, desde los picos de montaña hasta el lecho marino. Es posible

hacer frente al problema de la contaminación por plásticos si se aprovechan los avances científicos y las soluciones existentes. Para resolver esta crisis, es necesario que los gobiernos, el sector privado y demás partes interesadas amplifiquen e implementen medidas eficaces dirigidas. [2]

El tiempo de degradación de los plásticos de un solo uso es:

- Bolsa de plástico: 50 a 150 años.
- Popotes de plástico: 500 a 800 años.
- Vasos de plástico: 1000 años.
- Platos de plástico: 500 años.
- Cubiertos de plástico: 400 años.

Mientras se desintegran, los plásticos de un solo uso liberan sustancias nocivas para la salud ambiental y humana. El mundo se está inundando de plásticos de un solo uso, El espíritu de la Ley, es generar hábitos más sustentables al ocupar plásticos reutilizables y no sólo sustituir por desechables compostables, aun cuando estén permitidos. [3]

Es importante tener la conciencia de sustituir los cubiertos de un solo uso por cubiertos comestibles que además de ser beneficiosos para el medio ambiente, pueden llegar a ser muy nutritivos para el consumo humano, en esta ocasión se proponen ingredientes de alto valor proteico.

La empresa india Bakeys es la primera en comercializar a nivel mundial cubiertos comestibles, los cuales tienen un gran potencial para reducir los residuos de plástico. Las cucharas, tenedores y palillos chinos están hechos de arroz, trigo y harina de sorgo. La masa es una mezcla de arroz, trigo y harina de sorgo. Se elabora sin conservantes, grasas saturadas o lácteos. Su caducidad es de tres años bajo las condiciones adecuadas. La cubertería comestible es capaz de aguantar hasta 20 minutos sumergida dentro del líquido. El proceso de fabricación es muy eficiente, ya que pueden fabricar 100 cucharas comestibles

de sorgo con la misma energía que se necesita para la fabricación de un único utensilio de plástico. [4]

Cinco razones por las que debes pensar en comenzar a usar cubiertos comestibles:

1. Son ecológicos. - Ayudan a limitar los residuos de plástico y son completamente biodegradables. Por lo general, los cubiertos de plástico están hechos de polipropileno y poliestireno, y pueden tardar más de 400 años en degradarse.
2. Son funcionales. - Podemos encontrar diferentes formatos como tenedores, cucharas y palillos. Pueden durar hasta 18 meses y si no te los has comido antes de la fecha de caducidad, simplemente puedes verter agua sobre ellos o utilizarlos como composta casera: se degradan en 3 días.
3. Están ricos. - Existen tres tipos de sabores: simple, dulce y salado. Sin embargo, ¡no afectan al sabor de tu comida!
4. Son nutritivos. - Contienen fibra, hierro, proteínas y calcio. El sorgo es un cereal de alto contenido en nutrientes. Y, si eres celíaco, pueden hacerse sin gluten. Por otro lado, si necesitas energía extra, cada cubierto comestible contiene aproximadamente 34,86 calorías por utensilio.
5. El complemento ideal para la sopa. - Las cucharas comestibles son el complemento perfecto para tu sopa. A diferencia de las galletas saladas, no se empapan mientras comes.

Por otro lado, los cubiertos comestibles están hechos de ingredientes seguros para consumo humano. [5]

Nuestra propuesta está sustentada en esta necesidad de disminuir el uso indiscriminado de materiales nocivos para el medio ambiente que a la larga se verá representado en riesgos para la salud humana y de todos los ecosistemas por lo cual consideramos iniciar

con la elaboración de una cuchara comestible a partir de una selección de ingredientes de alto valor nutricional.

El arroz es la semilla de la planta “oriza sativa”, es de los cereales más valiosos en México y en el mundo, es el segundo cereal más producido a escala mundial, sólo después del maíz. Es uno de los alimentos más completos en su tipo, tiene un alto valor nutricional pues contiene vitaminas D, B3 y B1, así como minerales entre los que destacan el calcio y hierro. Entre las propiedades del arroz se encuentra que su consumo podría disminuir la aparición de enfermedades cardíacas, así como prevenir algunos tipos de cáncer. En México más del 50 por ciento de la producción de arroz se obtiene de los estados de Nayarit, Campeche y Veracruz. [6]

El ajonjolí es una semilla muy rica en antioxidantes, aportando grandes beneficios para la salud, conocido también como semilla de sésamo, el ajonjolí proviene de la planta llamada *Sesamum indicum*, y se caracteriza por su gran valor nutricional, siendo rico en proteínas, ácidos grasos insaturados, calcio, magnesio, vitamina E y fibras. Los beneficios que aporta a la salud son:

- Reduce el colesterol LDL, llamado “malo” y triglicéridos en la sangre, a la vez aumentan los niveles de colesterol HDL, llamado “bueno”;
- Aporta propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, que actúan aumentando la relajación de los vasos sanguíneos, ayudando a reducir la presión arterial;
- Contiene lignanos, un tipo de fibra soluble que ayuda a aumentar el volumen de las heces, facilitando el tránsito intestinal;
- Es rico en proteínas, grasas y fibras, las cuales aumentan la saciedad entre comidas, disminuyendo así la ingesta de calorías, ayudando a controlar y disminuir el peso;
- La sesamina que contiene la semilla de ajonjolí, tiene efectos antioxidantes y antiinflamatorios que pueden reducir el dolor

y mejorar la movilidad de las articulaciones en personas que sufren artritis, además de ayudar controlando el estrés oxidativo del organismo y por lo tanto ayudando a prevenir el desarrollo de cáncer;

- Contienen un compuesto llamado pinoresinol, que suprime la actividad de algunas enzimas que son necesarias para la absorción de azúcar en el organismo, controlando así los niveles de azúcar en la sangre;
- Los lignanos presentes en las semillas de ajonjolí, son compuestos biológicamente activos con efectos neuroprotectores, que previenen el deterioro cognitivo que se va generando con el envejecimiento, evitando así el surgimiento de enfermedades, como el Parkinson, el Alzheimer y la demencia senil.
- Las semillas de ajonjolí se pueden consumir directamente crudas, tostadas o combinarse con alimentos como el yogur, arroz, ensaladas, cereales, atoles, batidos, jugos o cremas, ya que no altera el sabor de los alimentos. [7]

Por último, se eligió un ingrediente fundamental para que las cucharas propuestas sean una fuente rica en proteínas al incluir la semilla de chía, la cual contiene un elevado contenido en aceite y ser la fuente vegetal más rica en ácido graso omega 3 (aproximadamente posee de tres a diez veces la concentración de ácidos grasos insaturados de la mayoría de los granos) y omega 6. Estos ácidos grasos son considerados esenciales, al no poder ser sintetizados por nuestro organismo, luego la única forma de conseguirlo es a través de la dieta. Son los aceites esenciales que el cuerpo necesita para ayudar tanto a emulsificar como a absorber las vitaminas solubles en grasa (A, D, E y K). [8]

## MATERIAL Y MÉTODOS

Utensilios y maquinaria

- Horno
- Licuadora

- Charolas para horno
- Moldes
- Aluminio
- Cucharas
- Refractario

Materia prima

- Harina de arroz
- Ajonjolí
- Azúcar morena
- Sal
- Agua
- Aceite vegetal comestible
- Chía

Procedimiento:

1. Primero se pasa a triturar el arroz para obtener harina fina, se coloca en la licuadora en muy pequeñas cantidades para que así se pudiera obtener pulverización más fina y lograr que la cuchara obtenga apariencia más lisa. Figura 1.
2. Después se procede a moler el ajonjolí para que éste nos dé una consistencia pesada y espesa a la masa con la que se elaborará la cuchara. Figura 1.



**Figura 1. Trituración del arroz y ajonjolí**

3. Para poder preparar la masa se utilizan 500 gr de harina de arroz, se le incorpora la pasta de ajonjolí que fueron 50gr, así como también se le agregan 10 gr de azúcar y 5gr de sal. Figura 2.



**Figura 2. Incorporación de los ingredientes**

4. Después de que se mezclaron todos los ingredientes se le agrega poco a poco la chía después se le añaden 20 ml de aceite vegetal comestible esto con la finalidad de que la masa no se rompa ni se pegue al momento de ser horneada, por último se le incorpora agua tibia 28° C de poco a poco hasta que se logra una consistencia uniforme. Figura 3



Figura 3. Mezcla e integración de ingredientes para formar la pasta.

5. Después, envolver cubiertos de acero inoxidable (utilizados como moldes) con papel aluminio para poder así moldear con la masa y darle a esta la forma de cucharas. Figura 4



Figura 4. Moldear las cucharas

6. Una vez cubiertos con el aluminio se le colocó un poco de aceite vegetal, se le colocó la masa y se fue moldeando hasta darle la forma y grosor deseados. Figura 5



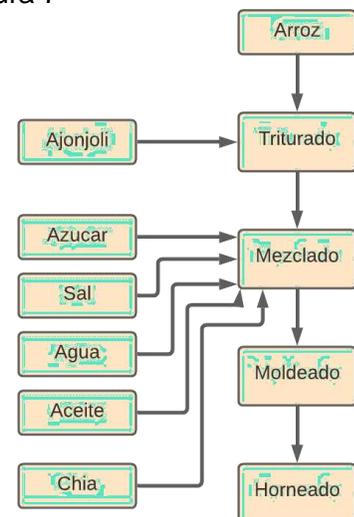
Figura 5. Colocación de aceite y masa

7. Se paso a colocar en un refractario y se pone al horno a 180° C durante 30 minutos. Figura 6



Figura 6. Horneado de la pasta

Como se puede observar el proceso en sí es muy sencillo y tiene una duración aproximada de 45 minutos para la elaboración de aproximadamente 50 cucharas comestibles bajo la metodología propuesta en este trabajo, además cabe señalar que fácilmente se pueden elaborar de forma casera o artesanal y así ayudar al medio ambiente mediante la reducción de utensilios plásticos de un solo uso. Figura 7



**Figura 7. Diagrama del proceso para elaborar cucharas comestibles.**

Una vez elaboradas las cucharas, se procedió a realizar tres pruebas de durabilidad sumergidas en agua a diferentes temperaturas, así como a una evaluación sensorial, para ello se optó por analizar 15 cucharas y así conocer las propiedades organolépticas, además de la durabilidad de uso de estos utensilios comestibles.

**RESULTADOS**

Tras una evaluación sensorial a la cual se sometieron las cucharas elaboradas bajo la metodología propuesta, resulta que los jueces coinciden en que la cuchara comestible no cambia el sabor de los alimentos. Además, en promedio tenemos que el 47% de los jueces mencionan que color es naranja, el 73% dicen que carece de sabor, el 67 % señala que carece de olor, el 100% de ellos aseguran que la textura es crujiente.

También se destaca la presencia de color amarillo y dorado en cierta cantidad de cucharas evaluadas, así como el olor y el sabor a pan tostado en alguna pequeña cantidad de ellas. **Tabla 1**

**Tabla 1 Resultados de la evaluación sensorial de las cucharas.**

Muestra	Color	Olor	Sabor	Textura	Tiempo 37°C	Tiempo 24°C	Tiempo 5°C
1	Naranja	Pan	Pan tostado	Crujiente	20	30	23
2	Dorado	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	19	28	19
3	Café	Sin olor	Pan tostado	Crujiente	21	30	22
4	Amarillo	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	20	29	25
5	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	20	30	25
6	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	19	31	23
7	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	19	30	21
8	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	20	32	25
9	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	20	29	20
10	Naranja	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	21	29	25
11	Amarillo	Sin olor	Sin sabor	Crujiente	21	32	23
12	Amarillo	Pan	Sin sabor	Crujiente	20	30	21
13	Amarillo	Pan	Sin sabor	Crujiente	20	30	26
14	Dorado	Pan	Pan tostado	Crujiente	19	28	23
15	Dorado	Pan	Pan tostado	Crujiente	21	32	24

El color de la cuchara no es constante ya que se observa que varió de acuerdo al lugar de ubicación en el horno, sin embargo, quedó entre naranja y amarillo los más destacados en la evaluación sensorial hecha. **Gráfica 1**



**Gráfica 1 Evaluación de color**

En cuanto a la evaluación de olor en las cucharas, destaca la ausencia de éste en el 67% de las cucharas evaluadas. **Gráfica 2**



**Gráfica 2 Evaluación de olor**

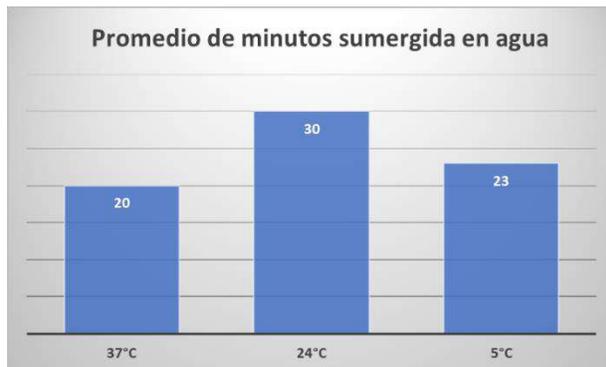
Una vez hecha la evaluación de sabor, destaca que en el 73% de las cucharas evaluadas, carecen de sabor, sin embargo, en el resto de ellas permanece un sabor a pan tostado. **Gráfica 3.**



**Gráfica 3 Evaluación de sabor**

Al contabilizar los resultados de la evaluación de textura, el 100% de los jueces determinaron que es crujiente.

La prueba de durabilidad de la cuchara sumergida en agua a diferentes temperaturas, se evalúa el promedio de minutos en los que la cuchara pudiera estar en contacto con los alimentos, sin que éstos presenten algún cambio en cuanto a color, olor o sabor, así mismo se observa que la cuchara no presenta cambios en el transcurso de este tiempo. Gráfica 4



Gráfica 4 Promedio de minutos que la cuchara dura sumergida en agua.

## CONCLUSIONES

Las cucharas comestibles elaboradas con ajonjolí como ingrediente principal y bajo la tecnología doméstica, si son posibles de fabricar. Con ello se logra hacer una importante aportación para la reducción de plástico de un solo uso, al mismo tiempo que se incrementa la cantidad de nutrientes ingeridos en los alimentos, sin alterar el sabor, color, olor o textura de ellos.

La metodología propuesta para la elaboración de las cucharas comestibles es ideal para emplearla en los hogares que cuenten con un horno ya sea de gas o leña. Cabe señalar que la siguiente etapa de este trabajo de investigación, aportará el plan de negocios para la opción de emprendimiento en aquellas personas que así lo requieran.

Las cucharas comestibles elaboradas con la metodología propuesta en este documento, pueden emplearse tanto en alimentos fríos como en aquellos alimentos o bebidas de consumo caliente, sin olvidar que, a mayor temperatura del alimento, menor el tiempo en que la cuchara se iniciará a desintegrar o disolver

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Parker, Laura (2017). *El 91 por ciento del plástico que fabricamos no se recicla*. National Geographic. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/07/el-91-por-ciento-del-plastico-que-fabricamos-no-se-recicla>
- [2]. ONU. (2023) *El Día Mundial del Medio Ambiente 2023 se centrará en las soluciones a la contaminación por plásticos con Côte d'Ivoire como país anfitrión*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-dia-mundial-del-medio-ambiente-2023-se-centrara->
- [3]. Secretaría de medio ambiente, Gobierno CDMX (2020). *Prohibición de plásticos de un solo uso*. Obtenido de [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/images/Prohibicion\\_plasticos\\_desec\\_hables\\_presentacion\\_ventana\\_informativa.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/culturaambiental/images/Prohibicion_plasticos_desec_hables_presentacion_ventana_informativa.pdf)
- [4]. Ecoinventos. (2021) *Cubiertos comestibles para salvar el planeta*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/cubiertos-comestibles-para-salvar-el-planeta/>
- [5]. Liu, Jane Alice. (2018) *5 razones para usar cubiertos comestibles*. Obtenido

de  
<https://www.foodunfolded.com/es/articulo/5-razones-para-usar-cubiertos-comestibles>

[6]. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (12 de octubre de 2015). *Arroz, la blanca joya de la gastronomía*. Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/arroz-la-blanca-joya-de-la-gastronomia#:~:text=El%20arroz%20es%20uno%20de,destacan%20el%20calcio%20y%20hierro>.

[7]. Leal, Karla. (2023) *Ajonjolí (sésamo): para qué sirve, 11 beneficios y cómo consumirlo*. Obtenido de <https://www.tuasaude.com/es/ajonjolil/>

[8]. [1]. Moreu Burgos. (2023) *Propiedades nutricionales de la semilla de chia y sus beneficios para la salud*. Obtenido de <https://www.lechepuleva.es/nutricion-y-bienestar/propiedades-nutricionales-de-la-semilla-de-chia-y-sus-beneficios-para-la-salud#:~:text=Buena%20fuente%20de%20prote%C3%ADnas,es%20limitante%20en%20los%20cereales>.

## Metodología para elaborar una pomada en gel con carbopol, aloe vera y aceites esenciales

Bertha Yadira Elizondo Nolazco<sup>1</sup>  
belizondo@itlinares.edu.mx

Tania Karely Silva Alameda<sup>2</sup>  
20720124@itlinares.edu.mx

Julissa Jaquelin Almaguer Guerrero<sup>3</sup>  
l20720106@itlinares.edu.mx

Contacto:  
belizondo@itlinares.edu.mx  
8713870654

### Optimización de procesos

<sup>1</sup> Maestría, Departamento de Ingeniería, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>2</sup> Estudiante de licenciatura, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Linares.

<sup>3</sup> Estudiante de licenciatura, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Linares.

**RESUMEN:** La medicina tradicional en zonas urbanas sigue existiendo gracias a la transmisión oral del conocimiento a través de los tiempos a nivel local las principales plantas utilizadas para fines antiinflamatorios son aloe vera, jengibre, romero, eucalipto y menta. El objetivo de este trabajo es utilizar los aceites esenciales de estas plantas, para elaborar una pomada en gel destinada al uso Fito terapéutico. El proceso metodológico para la elaboración de la pomada inicia con la obtención del gel utilizado como base, el cual es elaborado con aloe vera y carbopol; de ahí se realizó un diseño experimental completamente al azar donde las variables fueron las cantidades de aceites esenciales de las plantas restantes, para seleccionar la mejor mezcla, se aplicaron encuestas de evaluación sensorial como técnica de investigación. La selección de la muestra (90 personas) fue no probabilístico con enfoque de investigación cuantitativa. Se identificó que la pomada con una

aceptación del 80% en cuanto a olor, color, textura y efecto Fito-terapéutico es la que contiene: 50% aloe vera, 30% agua, 4.75% de cada aceite esencial, además 1% carbopol. En conclusión, se obtuvo una pomada con gran aceptación al causar una sensación agradable al tacto, con aroma mentolado.

**PALABRAS CLAVE:** Aceites esenciales, Aloe vera, Anti-inflamatorio, Fito-terapéutico, Menta, Jengibre, Pomada, Romero.

**ABSTRACT:** Traditional medicine in urban areas continues to exist thanks to the oral transmission of knowledge through time at the local level. The main plants used for fine anti-inflammatory drugs are aloe vera, ginger, rosemary, eucalyptus and mint. The objective of this work is to use the essential oils of these plants to make a gel ointment intended for Phyto-therapeutic use. The

***methodological process for the preparation of the ointment begins with obtaining the gel used as a base, which is made with aloe vera and carbopol; From there, a completely randomized experimental design was carried out where the variables were the amounts of essential oils of the remaining plants. To select the best mixture, sensory evaluation surveys were applied as a research technique. The selection of the sample (90 people) was not probabilistic with a quantitative research approach. It was identified that the ointment with an acceptance of 80% in terms of odor, color, texture and Phyto-therapeutic effect is the one that contains: 50% aloe vera, 30% water, 4.75% of each essential oil, also 1% carbopol. In conclusion, an ointment with great acceptance was obtained as it caused a pleasant sensation to the touch, with a menthol aroma.***

**KEYWORDS:** *Essential oils, Aloe vera, Anti-inflammatory, Phyto-therapeutic, Mint, Ginger, Ointment, Rosemary.*

## INTRODUCCIÓN

La Medicina Indígena Tradicional es la concreción de un cúmulo de saberes en torno a la salud y enfermedad que los pueblos originarios han acopiando y organizando a lo largo de su historia. Aunque carece de sustento científico, es bien sabido en esta región de Nuevo León que las principales plantas utilizadas para fines antiinflamatorios son: aloe vera, jengibre, romero y menta.

Dentro de la composición de una gran cantidad de plantas, se encuentra la presencia de diversos metabolitos secundarios, que exhiben un amplio rango de actividades biológicas, los metabolitos se encuentran principalmente en el aceite esencial y en los extractos de las plantas,

que reportan actividades antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes, así como hipolipemiantes (Fikry et al., 2019)

En las metodologías para la obtención de aceites esenciales están las técnicas convencionales como extracción por reflujo, percolación y maceración, que utilizan disolventes orgánicos en elevadas cantidades, así como largos tiempos de extracción (Zhang, Lin & Ye, 2018).

Sábila (*Aloe vera*): Estudios realizados sobre esta planta han descrito estas características: (Alasdair, 2003)

- Analgésica: Sus principios activos tienen una notable capacidad de penetración hasta la capa basal de la piel, bloqueando las fibras nerviosas periféricas e interrumpiendo en gran medida la conducción del dolor.
- Antiinflamatoria: Tiene una acción similar a la de los esteroides, desinflama los tejidos y procura un efecto calmante, así como su contenido en ácido acetil salicílico.
- Coagulante: Gracias a su contenido en calcio, potasio y celulosa, el aloe vera provoca en las lesiones la formación de una red de fibras que aseguran las plaquetas de la sangre, facilitando y acelerando tanto la coagulación como la cicatrización.
- Cicatrizante: Acelera hasta 8 veces la curación de heridas por su capacidad para descamar las células muertas de la piel y producir rápidamente el recambio epidérmico.
- Antibiótico: Su capacidad bacteriostática, bactericida y

fungicida (antiviral), elimina un amplio espectro de bacterias.

- Regenerador celular: Posee una hormona que acelera la formación y el crecimiento de células nuevas.
- Energético y nutritivo: La sábila contiene 19 aminoácidos esenciales, necesarios para la formación y estructuración de las proteínas, que son la base de las células. (Robin, 2000)

Jengibre (*Zingiber officinale*): Se emplea con fines medicinales y culinarios; en la medicina tradicional se emplea como tratamiento del asma, bronquitis, cólicos, diarreas, diabetes; posee propiedades antiinflamatorias. En la cocina se emplea como saborizante y aromatizante en la elaboración de infusiones, salsa y aderezos. (SIAP, 2023)

Romero (*Rosmarinus officinalis L.*): Dentro de la familia Lamiaceae destaca la importancia del género *Rosmarinus*, que contiene las siguientes especies: *R. laxiflorus*, *R. eriocalyx*, *R. tomentosus*, *R. lavandulaceus* y *R. officinalis*, siendo esta última la más utilizada, gracias a que sus metabolitos secundarios se encuentran en casi todas las partes de la planta (hojas, tallos, flores y raíces) mostrando éstas una gran variedad de actividades biológicas benéficas (Ali, Chua & Chow, 2019).

Menta (*menta piperita*): es una de las plantas con propiedades medicinales más utilizadas por el hombre actual. Pertenece a la familia de las Labiadas y se conoce como toronjil de menta, menta inglesa, entre otros. Es una hierba aromática con el tallo ramoso y flores pequeñas en verticilos blancos. (Paz, 2006)

Además del uso de aceites esenciales, para la obtención de una pomada es necesario el uso de otros productos como por ejemplo el carbopol que es quien le dará una consistencia de gel fresca y de suave textura, el uso de manteca de karité que le proporcionará propiedades humectantes para la piel, así como también se propone el uso de cera de abeja ya que con ella puede facilitarse una buena textura del producto, sin olvidar que también provee nutrientes para la piel. a continuación, se detallan propiedades de cada uno de estos ingredientes.

El carbopol, también denominado carbomer: es un polímero reticulado del ácido acrílico. Se trata de un polímero hidrofílico y, por lo tanto, no repele el agua. En su estructura molecular cuenta con gran cantidad de grupos carboxilo, propiedad que le permite aumentar su volumen en presencia de agua. Esto hace que sea una molécula muy frecuentemente utilizada en cosmética (como los geles fijadores para el cabello o dentífricos), así como en la industria farmacéutica por ejemplo en geles desinfectantes, geles medicamentosos, entre otros. Generalmente se utiliza en proporciones bajas, pues el carbopol puede absorber hasta cien veces su peso en agua dando lugar a geles de gran viscosidad. (Aymi, 2020)

Manteca de karité: Es un ingrediente natural muy utilizado en cosmética por sus grandes beneficios. Este lípido vegetal, extraído del árbol de karité, se usa como un emoliente en cosméticos y tiene propiedades suavizantes para la piel seca. No solo tiene una textura rica; también es una rica fuente de antioxidantes, así como

ácidos grasos que reponen la piel (esteárico y linoleico). Es un ingrediente muy valioso para mejorar la piel seca. Tiene propiedades antiinflamatorias, por lo que ayuda a reducir picores e irritaciones de la piel, calmar la piel. Por ello, es un buen aliado de las pieles con dermatitis, eccemas, psoriasis, entre otros. (Arbosana-Farmacia, 2022)

Por último y no menos importante, hablaremos de la cera de abeja: es un producto segregado por las abejas de entre 12 y 30 días de edad (puntualmente de otras edades en ausencia de estas), en forma de pequeñas escamas redondeadas, en 4 pares de glándulas que tienen en la parte inferior de los 4 últimos anillos del abdomen. Aunque la cera de abejas ha sido desplazada por las sintéticas de muchos usos industriales, a veces por sus mejores cualidades y a veces por sus mejores precios, sigue teniendo otros usos, aparte del apícola. Los principales son: , Cosmético y Farmacéutico: entra en la composición de pomadas y cremas, como base grasa y como espesante. (Gómez, 2002)

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Prueba 1

- Manteca de karité 10g
- Sábila 20g
- Aceite esencial de jengibre, 4g
- Aceite esencial de romero 4g
- Aceite esencial de menta 4g
- Cera de abeja 5g

#### Metodología:

Se coloca a baño maría la manteca de karité, sábila y cera de abeja durante 10 minutos, Después se coloca la manteca de

karité y aleo vera se licua hasta tener una mezcla homogénea, enseguida se agrega poco a poco la cera de abeja y la tritolmanina. Posteriormente se le agregan los aceites esenciales.



Figura 1. Resultado de la prueba 1

Con esta metodología la pomada no es del agrado ya que no se homogenizó correctamente y su textura es sumamente granulada, además que el color se ve muy marrón y es un tanto desagradable en olor. Figura 1

### Prueba 2

- Manteca de karité 10g
- Carbopol 3g
- Aceite esencial de jengibre, 4g
- Aceite esencial de romero 4g
- Aceite esencial de menta 4g
- Cera de abeja 5g

#### Metodología:

Se colocan a baño maría la manteca de karité y cera de abeja durante 10 minutos. Después se licuan hasta tener una mezcla homogénea. Mientras tanto, en otro recipiente se prepara el carbopol 1g para 50ml de agua. Posteriormente se les agrega los aceites esenciales.



Figura 2. Resultado de la prueba 2

Al agregar los aceites esenciales la mezcla se separó sin lograr el objetivo de obtener una pomada de textura suave y homogénea. Podemos destacar que en esta prueba quedó excluida la sábila ya que se supuso que quizá era quien le proporcionaba olor desagradable en la prueba anterior, sin embargo, el olor persiste por lo que en pruebas posteriores se vuelve a incluir la sábila. Figura 2

#### Prueba 3

- Manteca de Karité 10gr
- Sábila 20gr
- Carbopol 3gr

#### Metodología:

Colocamos en baño maría la manteca de karité por un tiempo de 5 minutos. A continuación, y en un recipiente aparte se licua la sábila hasta obtener una consistencia espumosa. En otro recipiente se prepara el gel con 1g de carbopol y 50 ml de agua destilada. Al final se mezcla todo junto en un solo recipiente utilizando una licuadora manual para lograr una mezcla homogénea.

Nota: en esta prueba no se agregaron aceites esenciales ya que la intención es observar si se logra y se mantiene la consistencia de gel para la base de la pomada.



Figura 3. Resultado de la prueba 3

Al momento de estar mezclando la sábila con el carbopol preparado, se hizo notar que la consistencia es extremadamente mejor que las pruebas anteriores y con estos dos ingredientes es suficiente para lograr la consistencia de pomada que se trazó como objetivo. En la siguiente prueba se hará con estos dos ingredientes y los aceites esenciales. Figura 3

#### Prueba 4

- Carbopol 1g
- Sábila 30g
- Aceite esencial de jengibre 4g
- Aceite esencial de romero 4g
- Aceite esencial de menta 4g

#### Metodología:

Se licua la sábila en un recipiente limpio. A continuación, se prepara el gel con 1 g de carbopol y 50 ml de agua. Luego se incorpora el gel con la sábila y se mezcla con la licuadora manual para una mejor homogeneización. Por último, se agregan los aceites de uno en uno sin dejar de licuar. Por último, envasarla en recipientes limpios y estériles, sin olvidar etiquetarla con fecha de elaboración.



Figura 4. Resultado de la prueba 4

Ahora ya con la mezcla terminada vemos cómo adquiere la consistencia que se estaba buscando, agregando que se ve transparente y con un olor agradable predominando a menta. Cabe mencionar que en esta prueba se redujo la cantidad de carbopol utilizada para lograr una consistencia menos firme y más suave al tacto, facilitando el uso del producto. Figura 4



Figura 5. Resultado de la prueba 5

Nota: se sugiere el uso de dos gotas de colorante vegetal verde para que la pomada adquiera un agradable color entonado con el aroma a menta. Figura 5

Después de cada una de las pruebas, las muestras obtenidas bajo la metodología antes explicada, se realizó una evaluación sensorial hedónica con un panel de diez jueces. Figura 6



Figura 6. Evaluación sensorial

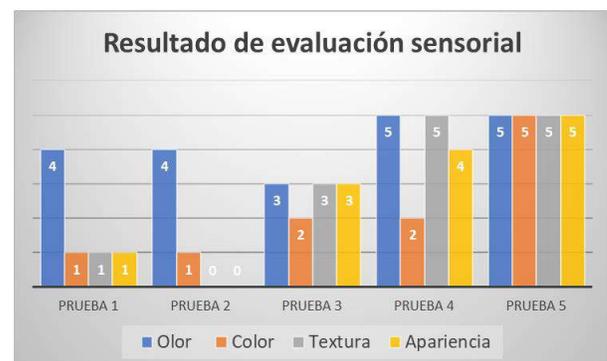
El instrumento de evaluación sensorial utilizado para la recolección de datos está diseñado en escala hedónica del 1 al 5, siendo el 5 el de mayor agrado y el 1 de menor agrado. Figura 7.



Figura 7.- Instrumento de evaluación

## RESULTADOS

Tras una evaluación sensorial de tipo hedónica bajo un régimen de diez jueces consumidores, los resultados obtenidos resaltan en la metodología utilizada en la prueba número 5, ya que es en promedio la de mayor aceptación en cuanto a olor color textura y apariencia. Gráfica 1

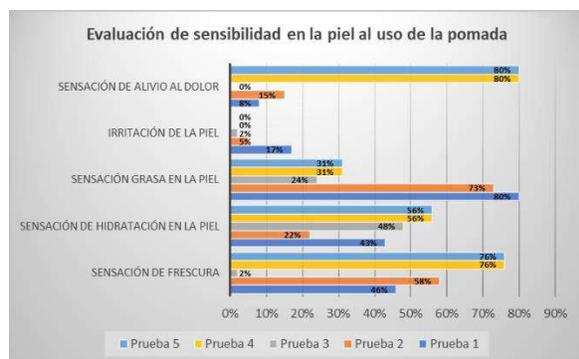


### Gráfica 1. Media de evaluación sensorial

Además, se realizaron otro tipo de preguntas para fortalecer los resultados de que la fórmula utilizada en la prueba número cinco, es la ideal para realizar una pomada en gel con carbopol, aloe vera y aceites esenciales.

Para medir la sensación del uso de estas pomadas, se hizo una evaluación de sensibilidad que presentan en la piel al uso de la pomada elaborada con cada uno de las pruebas hechas en la metodología.

Para esta evaluación de sensibilidad se determinó una muestra de 87 de 800 que son en total en la comunidad estudiantil del Instituto tecnológico de linares, cabe señalar que solo a la tercera parte de ellos pudieron responder la pregunta de sensación de alivio ya que eran los que presentaban molestia o dolor. Gráfica 2



Gráfica 2. Evaluación de sensibilidad

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la interpretación de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la pomada en gel elaborada con la fórmula de la prueba 5, cumple con las características que se esperaban lo

agradable de esto es que no causa irritación, además de que si genera una sensación de alivio al dolor muscular. En cuanto a la apariencia se recibieron solo buenos comentarios. Lo mejor de todo es que la fórmula propuesta para la elaboración de la pomada puede hacerse de forma casera y en aproximadamente 5 minutos tendrá el producto listo para usarse. Es importante señalar que se sigue trabajando en esta fórmula ya que le hacen falta pruebas dermatológicas más estrictas, esperando que sea un aliado contra los dolores musculares.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Fikry, S., Khalil, N. & Salama, O. (2019). Chemical profiling, biostatic and biocidal dynamics of *Origanum vulgare* L. essential oil. *AMB Express*, 9:41, 1-10. DOI: 10.1186/s13568-019-0764-y**
2. **Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/838456/Jengibre\_monografi\_a\_2023.pdf**
3. **Alasdair Barcroft. Aloe vera, la planta de propiedades milagrosas. Edit. Obelisco; 2003.**
4. **Robin Dehin. El poder curativo del Aloe vera. Robin Book; 2000.**
5. **Ali, A., Chua, B. L. & Chow, Y. H. (2019). An insight into the extraction and fractionation technologies of the essential oils and bioactive compounds in *Rosmarinus officinalis* L.: Past, present and future. *Trends in Analytical***

- Chemistry*, 188, 338-351.  
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.040>.
6. Paz J, Maceira M, Corral A, González C. *Actividad antiparasitaria de una decocción de menta piperita (Menta)*. *Rev Cubana Med Milit* 2006; 35(3). Disponible en: [http://www.bvs.sld.cu/revistas/mil/vol35\\_3\\_06/mil13306.htm](http://www.bvs.sld.cu/revistas/mil/vol35_3_06/mil13306.htm).
  7. Aymi, G. (2020). *Carbopol, ingrediente cosmético aliado contra la COVID-19*. Obtenido el 12 de octubre de 2023. <https://www.industriacosmetica.net/articulos-online/carbopol-ingrediente-cosmetico-aliado-contra-la-covid-19>
  8. *Manteca de Karité*. (2022) Arbosana-Farmacia. Obtenido el 12 de octubre de 2023. <https://www.arbosanafarmacia.es/blog/manteca-de-karite>
  9. Gomez, P, A. (2002) *La cera de abeja control y factores de calidad*. IV Jornada Malagueña de Apicultura. España.

## Estudios previos para el establecimiento de un humedal de tratamiento de aguas residuales a gran escala

Joaquín Sangabriel Lomelí <sup>1,2</sup>  
zS22000022@estudiantes.uv.mx;

Luis Carlos Sandoval-Herazo<sup>3</sup>  
lcsandovalh@itsm.edu.mx

Sergio Aurelio Zamora-Castro<sup>4</sup>  
szamora@uv.mx

Georgina Martínez-Reséndiz <sup>5</sup>  
georgina.martinez.tecm@gmail.com

Saúl Rivera<sup>6</sup>  
222t0510@itsm.edu.mx

Contacto:  
zS22000022@estudiantes.uv.mx;  
Tel.: +52 235110 6889

### Sustentabilidad

<sup>1,2</sup>Joaquín Sangabriel Lomelí, Maestro en ingeniería con opción terminal en estructuras, Doctorado en Ingeniería aplicada de la Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz 93164, México. Departamento de ingeniería Civil, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>3</sup>Luis Carlos Sandoval Herazo, Doctor en Ciencias de la Ingeniería, laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>4</sup>Sergio Aurelio Zamora Castro, Doctor en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, Veracruz 93164, México.

<sup>5</sup>Georgina Martínez Reséndiz, Doctorado en Ambiental, laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, México.

<sup>6</sup>Saul Antonio Rivera González, Maestro en Sistemas Computacionales, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

**RESUMEN:** Los estudios previos para la construcción de humedales de tratamiento son indispensables para garantizar la

eficacia, funcionalidad y sostenibilidad del sistema, por lo general estos sistemas se sitúan cerca de fuentes de contaminación,

como vertederos, industrias o áreas urbanas y en su mayoría no se cuentan con espacios óptimos para construir. Este estudio tiene como objetivo analizar la información provista por los estudios previos a la construcción de un humedal de tratamiento a gran escala para el diseño y dimensionamiento óptimo del sistema, por lo que se usó un caso de estudio en Nautla, Ver., en un sitio impactado por aguas residuales domésticas en malas condiciones para construir. Se realizó un análisis topográfico con equipo especializado y de suelo con pruebas de laboratorio en función uso de normativa aplicable, asimismo se obtuvieron propiedades físicas de los componentes del sistema y estudio de la zona sísmica del sitio, para la obtención de cargas y modelado previo al análisis y diseño de elementos estructurales por medio de software profesional SAP2000 v23 utilizando el código ACI 318-19 y las normas técnicas complementarias de la ciudad de México (NTC), junto con la metodología de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) para las cargas mayoradas. Los resultados obtenidos establecieron medidas de estabilización y mejoramiento de suelo por medio de una capa granular, así como un juego de pendientes para el aprovechamiento de la gravedad para el movimiento del flujo dentro del sistema. Los estudios previos permitirán elegir las soluciones más adecuadas según la situación a resolver.

**PALABRAS CLAVE:** *estudios previos, humedales de tratamiento, diseño estructural, construcción.*

**ABSTRACT:** *Previous studies for the construction of treatment wetlands are essential to guarantee the effectiveness, functionality, and sustainability of the system. Generally, these systems are*

*located near sources of pollution, such as landfills, industries, or urban areas, and most of them are not counted. with optimal spaces to build. This study aims to analyze the information provided by studies prior to the construction of a large-scale treatment wetland for the optimal design and sizing of the system, so a case study in Nautla, Ver., was used in a site impacted by domestic wastewater in poor condition for construction. A topographic analysis was carried out with specialized equipment and soil with laboratory tests based on the use of applicable regulations, physical properties of the system components and study of the seismic zone of the site were also obtained, to obtain loads and modeling prior to analysis and design of structural elements through SAP2000 v23 professional software using the ACI 318-19 code and the complementary technical standards of Mexico City (NTC), along with the load and resistance factor design methodology (LRFD) to factored loads. The results obtained established soil stabilization and improvement measures through a granular layer, as well as a set of slopes for the use of gravity for the flow movement within the system. Previous studies will allow you to choose the most appropriate solutions according to the situation to be resolved.*

**KEYWORDS:** *previous studies, treatment wetlands, structural design, construction.*

## INTRODUCCIÓN

La implementación de humedales de tratamiento de aguas residuales a gran escala es una estrategia ambientalmente sostenible y efectiva para abordar los desafíos de la gestión de aguas residuales en comunidades urbanas y rurales<sup>1</sup>. Estos sistemas ofrecen una solución que combina la eliminación de contaminantes

con la restauración del ecosistema acuático, promoviendo la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del agua. Sin embargo, para garantizar el éxito y la eficiencia de un humedal de tratamiento a gran escala, es crucial realizar una serie de estudios previos exhaustivos.

Los estudios previos son fundamentales para el establecimiento de un humedal de tratamiento de aguas residuales a gran escala. Estos estudios permiten comprender la viabilidad, eficiencia y beneficios de esta tecnología, así como identificar los aspectos clave a considerar en su diseño, construcción y operación. La construcción y el diseño de Humedales de tratamiento a gran escala comprende múltiples factores que son fundamentales, tal es el caso de una la selección adecuada del sitio para su instalación, así como los estudios previos que garanticen la seguridad estructural del sistema<sup>2</sup>.

Los humedales de tratamiento están estructurados para contener grandes cantidades de agua y los materiales usados como medios filtrantes (grava) para su funcionamiento, produciendo cargas y esfuerzos a los elementos estructurales del humedal (muros y cimentación), que hace que sea de gran relevancia en el diseño del sistema. Aunado a esto, contemplar las condiciones topográficas, geológicas<sup>3</sup> y de saturación del suelo iniciales que pudieran ocasionar efectos adversos, como asentamientos diferenciales, efectos fisicoquímicos a los concretos, agrietamientos, etc. Sin embargo, la poca información relevante sobre los criterios de selección del sitio de instalación, el comportamiento estructural, el mejoramiento de las condiciones del sitio de desplante, y los estudios previos necesarios para adquirir la seguridad estructural del sistema, genera incertidumbre a la hora de realizar una construcción segura,

confiable y que cumpla con la normatividad vigente actual.

En este sentido el objetivo de este trabajo es establecer los mecanismos de selección del sitio, estudios previos necesario para su correcto desarrollo y garantía de funcionamiento del sistema tanto en materia de eliminación como en la seguridad estructural. Este resultado permitirá a los constructores, investigadores y tomar decisiones apropiadas para mejorar los diseños, para mejorar los procesos de selección, construcción de los humedales a gran escala.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio, se contempló un caso de estudio, localizado en el municipio de Nautla, Veracruz; donde se ha experimentado un impacto ambiental significativo debido a la descarga de aguas residuales domésticas generadas por el sistema de alcantarillado municipal. La respuesta a esta problemática se materializó en la construcción de un humedal de tratamiento. A partir de esto se ha desarrollado una metodología que consta de las siguientes etapas: 1) la selección y reconocimiento del sitio, 2) trabajos preliminares, 3) estudios previos del sitio, 4) propuesta de mejoramiento de suelo, 5) elección de materiales, 6) medio de soporte, 7) vegetación y tipo de sistema estructural, 8) elección de forma y dimensionamiento del humedal, 9) cálculo estructural de cimentación y estructura, construcción del humedal y 10) adaptación de la flora presente en humedal.

### 1.1 Selección y reconocimiento del sitio.

La selección y reconocimiento del sitio para la construcción de un humedal construido es un proceso fundamental que requiere un enfoque cuidadoso y una consideración detallada de varios factores clave como, la proximidad a la fuente de aguas residuales, la topografía del terreno, la disponibilidad de espacio y la

accesibilidad para el mantenimiento y la operación. Es esencial comprender las características hidrogeológicas del área, lo que implica evaluar el tipo de suelo, la permeabilidad.

Para esta primera etapa se llevó a cabo una inspección visual del área con el fin de recopilar información sobre el estado del área, identificar posibles focos de contaminación y la biodiversidad local que es un factor importante para considerar. Se deben identificar las especies de plantas y animales presentes en el área y evaluar cómo el humedal puede afectar a estos ecosistemas. Además, se realizó una investigación histórica del área, la cual involucró la revisión de registros públicos, entrevistas con residentes locales y la consulta de documentos relacionados que pudieran ser importantes para esta etapa. Para la ejecución de las labores de construcción, se obtuvieron todos los permisos necesarios, incluyendo aquellos relacionados con construcción y excavación, y se complementó la adquisición de las escrituras del terreno correspondiente.

### **1.2 Trabajos preliminares.**

Se desarrolló un plan de trabajo que involucró a un equipo altamente capacitado para llevar a cabo la limpieza del área. Este equipo evaluó minuciosamente los posibles riesgos y la probabilidad de lesiones antes de proceder con las actividades. Antes de iniciar cualquier tarea, se realizó una inspección exhaustiva de los equipos de seguridad con el fin de identificar posibles daños que pudieran comprometer la protección de los trabajadores. En caso de detectarse algún daño, se procedió a su reemplazo, garantizando así la integridad de los equipos de seguridad. Además, se brindó capacitación detallada al personal sobre el uso apropiado de las herramientas y el equipo, asegurando un entorno de trabajo seguro y eficaz.

## **2.3 Estudios previos del área de trabajo.**

### **2.3.1. Estudio topográfico.**

Para llevar a cabo este paso, se tomó la información obtenida en el paso anterior (reconocimiento del área a trabajar), se tomó en cuenta la duración del proceso. Tener clara la finalidad del levantamiento topográfico fue primordial. Se acudió al área de interés y se posicionó la estación total para llevar cabo la revisión de su estado y calibración, posteriormente se marcó el punto de control, se obtuvieron los datos y finalmente se procesaron en programas tipo CAD.

Se generó un modelo digital del terreno que sirvió como base para la creación de un plano topográfico detallado. Este plano incluyó elementos importantes como curvas de nivel, elevaciones, perfiles del terreno y otros datos relevantes. Utilizando esta información, se realizaron cálculos para determinar los volúmenes necesarios de material de banco requeridos para la configuración del área en estudio. Además, se definieron los niveles del terreno y se planificó la implementación de la estructura en función de los resultados obtenidos en el estudio topográfico.

### **2.3.2 Estudio de mecánica de suelos.**

Para llevar a cabo este estudio, se excavaron dos Pozos a Cielo Abierto (PCA) con el propósito de obtener una aproximación más precisa de las propiedades del suelo. Dentro de las propiedades obtenidas, se presentan las más relevantes:

- a) Clasificación de acuerdo con el sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- b) Determinación del contenido natural de agua.
- c) Granulometrías.
- d) Límites de plasticidad, líquido y plástico.
- e) Ensaye de corte directo.

Para determinar la capacidad de carga, se consultaron los reglamentos aplicables, incluyendo el Reglamento de Construcción de

la Ciudad de México<sup>4</sup>. Se utilizaron las ecuaciones (1, 2 y 3) recomendadas por el reglamento para un comportamiento friccionante.

$$Q_{adm} = (\gamma D_f (N_q - 1) + 0.5(\gamma B N_\gamma)) F_R + \gamma D_f \quad \text{Ec. (1)}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \left( \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \left( 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \right) \right) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \left( 1 - 0.4 \frac{B}{L} \right) \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo.

$D_f$  = Profundidad de desplante del cimiento

$N_q$  = Coeficiente de capacidad de carga

$B$  = Ancho del cimiento considerado

$N_\gamma$  = Coeficiente de capacidad de carga

$F_R$  = Factor de reducción

$\phi$  = Ángulo de fricción interna reducido

Los asentamientos del suelo del tipo elástico se determinaron por medio de la expresión de Steinbrenner, los módulos de elasticidad y de Poisson fueron correlacionados por las diversas correlaciones recomendadas en el Manual de construcción de la Comisión Federal de electricidad (CFE), Tomo B.2.5 Cimentaciones en suelos<sup>5</sup>, y la fórmula es como sigue:

$$S = \frac{q * B (1 - \nu^2) I_w}{E} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$S$ : Asentamiento, en m.

$q$ : Presión de contacto, en t/m<sup>2</sup>

$B$ : ancho del cimiento, en m.

$E$ : Módulo de elasticidad del suelo, t/m<sup>2</sup>

$\nu^2$ : Módulo de Poisson del suelo, adimensional.

$I_w$ : factor de influencia, en función de la relación L/B.

Para el cálculo del Módulo de reacción del subsuelo ( $k_s$ ) se utilizó la expresión

recomendada del texto de Análisis y diseño de cimientos<sup>6</sup>, y es como sigue:

$$k_s = 40 * (FS) * (Q_{adm}) \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

$k_s$ : Módulo de reacción del subsuelo, en kg/cm<sup>3</sup>

$FS$ : Factor de seguridad, 3.

$Q_{adm}$ : Presión de contacto, t/m<sup>2</sup>

Se llevó a cabo una estratigrafía a una profundidad mínima de 4.2 metros (tabla 1) donde se determinó por capa de material la clasificación de suelos por medio del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), contenido de agua (W%), límite líquido (LL%), límite plástico (LP%), índice plástico (IP%), contenido de gravas (G%), contenido de arenas (A%) y el contenido de finos (F%). Asimismo, se obtuvieron la estimación de la capacidad portante del suelo (tabla 2), Asentamiento elásticos (tabla 3) y el módulo de reacción del suelo (tabla 4) esto a distintas alturas con el fin de evaluar la influencia del agua en la zona, determinar el perfil del terreno y establecer acciones de estabilización de suelo.

### 2.3.3 Consideraciones sísmicas de la zona de estudio.

Las consideraciones sísmicas de la zona de estudio son un aspecto fundamental en cualquier proyecto de construcción. En el caso de la zona de estudio, es esencial realizar una evaluación detallada de la actividad sísmica histórica y actual. Esto implica la recopilación de datos sísmicos, como la ubicación de fallas geológicas, la magnitud y la frecuencia de los sismos registrados en la zona, así como la amenaza sísmica potencial.

Una vez recopilada esta información, se procede a determinar la zona sísmica en la que se encuentra el área de estudio, de acuerdo con las normativas y regulaciones vigentes. Esto ayuda a establecer los niveles de amenaza sísmica que deben ser considerados en el diseño de las estructuras. Además, se

utiliza el espectro de diseño sísmico, que es una representación gráfica de la aceleración sísmica esperada en función del periodo de vibración de una estructura.

En este trabajo, las consideraciones sísmicas se derivaron del uso del Programa de Diseño Sísmico (Prodisis v4.1)<sup>7</sup> (Figura 1) proporcionado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Este proceso incluyó la identificación de la zona sísmica correspondiente, así como la obtención del espectro de diseño regional transparente y el espectro de diseño modificado. Estos parámetros se integraron en los cálculos estructurales tanto para la cimentación como para la estructura en su totalidad.

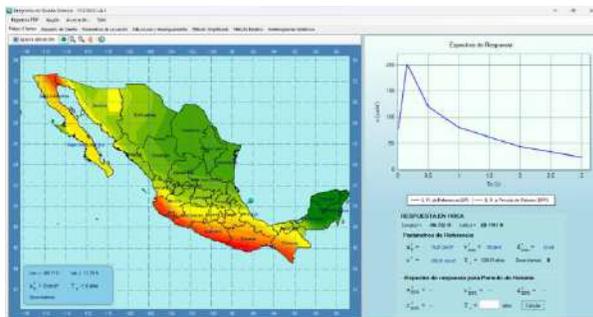


Figura 1. Interfaz gráfica del software Prodisis v4.1 de la CFE<sup>7</sup>.

Es importante destacar que la determinación del espectro de diseño reviste gran importancia, ya que proporciona información detallada sobre la variación de la ordenada en relación con la aceleración del sismo respecto a la gravedad para diferentes períodos de vibración ( $T$ ). Esto incluye los valores de la ordenada al origen ( $a_0$ ), la ordenada máxima ( $C_s$ ), así como los períodos de vibración inferior ( $T_a$ ) y superior ( $T_b$ ) que abarcan el intervalo de resonancia del espectro sísmico. Estos datos son esenciales para comprender y analizar el comportamiento de la estructura frente a las fuerzas sísmicas y son fundamentales en el proceso de diseño y cálculo estructural.

En el cálculo del espectro de diseño, es necesario tener en cuenta la influencia de las condiciones locales del terreno. Para ello, se utilizan técnicas de modificación de espectros y espectro medio, que permiten ajustar el espectro de diseño a las características específicas del sitio donde se encuentra la estructura. La determinación del espectro de diseño se realiza siguiendo las indicaciones de la normativa sismorresistente vigente en cada país. Esta normativa establece los criterios y procedimientos que deben seguirse para garantizar que las estructuras sean capaces de resistir las fuerzas sísmicas a las que pueden estar expuestas<sup>8</sup>.

#### 2.4. Mejoramiento del sitio.

El proceso de mejora del sitio desempeña un papel crucial en la planificación y ejecución de proyectos de construcción e infraestructura. La atención a los detalles y la optimización de las condiciones del sitio pueden contribuir significativamente a la eficiencia y la seguridad de un proyecto.

Los resultados de las pruebas de laboratorio revelaron la presencia de un suelo con una capacidad portante limitada, especialmente debido a las condiciones de saturación del terreno. Para abordar este desafío, se utilizó la información obtenida de la estratigrafía del terreno para introducir una nueva capa de material con un espesor variable. Esta capa consistió en rocas circulares de diversos diámetros, conocidas como "boleos", con el propósito de proporcionar un sólido soporte a la cimentación, sin interferir en el flujo del caudal subterráneo presente en el área.

#### 2.5. Elección de materiales, medio de soporte, vegetación y tipo de sistema estructural.

Esta es una etapa crítica que tiene un impacto significativo en la eficacia y sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales. Cada uno de estos aspectos desempeña un papel crucial en el rendimiento general del humedal, su

durabilidad y su capacidad para eliminar contaminantes. La selección de los materiales de construcción es fundamental para garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo del humedal. El medio de soporte en un humedal es el sustrato donde crece la vegetación y donde se adhieren los microorganismos responsables de la descomposición de contaminantes y La vegetación desempeña un papel vital en la purificación del agua en los humedales.

En este estudio, la elección de materiales se basó en la disponibilidad de este en la región y en la propuesta del sistema estructural seleccionado. Para la cimentación, dado el bajo poder portante del suelo, se optó por una losa de cimentación que se diseñó de acuerdo con la forma del sistema. Dado que las paredes utilizadas en este tipo de sistemas son de baja altura, se empleó mampostería confinada, la cual se compone de tabiques unidos por mortero de cemento y arena, reforzados con castillos y dalas de concreto.

El medio de soporte seleccionado para el sistema consistió en grava triturada de diferentes diámetros, distribuida en tres estratos de espesor similar, ubicándose desde un diámetro menor en la parte superior hasta uno mayor en la parte inferior. Esto permitió un adecuado soporte para el sistema y contribuyó a su eficacia. En lo que respecta a la vegetación, se eligieron plantas de tipo ornamental que demostraron una alta capacidad de adaptación a las condiciones climáticas de la región, así como su capacidad para sobrevivir en entornos saturados en agua, ya sea en su totalidad o de forma parcial. Estas plantas se seleccionaron cuidadosamente para asegurar su funcionalidad en el sistema y su capacidad para eliminar contaminantes del agua de manera efectiva.

## 2.6. Elección de forma y dimensionamiento del humedal.

El diseño del sistema se inspiró en la forma de la tortuga, un símbolo emblemático y endémico de Nautla, Veracruz. Esta elección no solo rinde homenaje a la fauna local, sino que también contribuye al embellecimiento del sitio. El sistema se basa en humedales subsuperficiales de flujo horizontal, donde la cortina de agua no es visible, lo que reduce significativamente los costos energéticos. El caudal fluye a través del sistema impulsado por la gravedad, lo que mejora la eficiencia y la sostenibilidad del tratamiento de aguas residuales.

Las dimensiones se determinaron cuidadosamente para asegurar una retención adecuada del agua, lo que garantiza que el tiempo de residencia sea suficiente para el tratamiento efectivo de las aguas residuales. La superficie del sistema puede ser determinada utilizando un modelo matemático basado en el modelo de cinética de primer orden de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos<sup>9</sup>. Este modelo considera un reactor de flujo de pistón y tuvo en cuenta diversos factores, como la población local, la generación per cápita de aguas residuales, la porosidad del material filtrante, la temperatura promedio de la zona, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua de entrada al sistema y la DBO permitida en la salida del sistema de acuerdo con los límites establecidos por la normativa. También se consideró el coeficiente de Arrhenius, que varía según el tipo de humedal de tratamiento. El modelo se presenta a continuación:

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - \ln C_e)}{K_{v,T} D_M \eta} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$A_s$  = Área superficial del humedal ( $\text{m}^2$ )

$Q$  = Caudal del afluente diario ( $\text{m}^3\text{día}^{-1}$ )

$K_{v,T}$  = Constante cinética de primer orden ( $\text{d}^{-1}$ )

$D_M$  = Profundidad de diseño del sistema (m)

$\eta$  = Porosidad del medio de soporte (fracción)

$C_o$  = Concentración de materia orgánica  
afluente ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$C_e$  = Concentración de materia orgánica  
efluente ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

La constante cinética de primer orden se puede  
obtener por medio de la siguiente expresión:

$$K_{v,T} = K_{v,20}\theta^{T-20} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$T$  = Temperatura promedio ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta$  = Coeficiente de Arrhenius

## 2.7. Cálculo estructural de la cimentación y estructura.

El cálculo estructural de la cimentación y estructura involucró la identificación de diversas cargas actuantes en el sistema, que incluyen el peso propio de los elementos, la carga muerta (representada por el material filtrante en estado saturado y las plantas en su etapa adulta), la carga viva (considerada equiparable a una casa habitación, ya que los reglamentos locales, en el reglamento de construcción de la Ciudad de México<sup>10</sup> y en el código ASCE<sup>11</sup>), y las cargas sísmicas. La carga muerta debida al material filtrante saturado se calculó teniendo en cuenta su ángulo de reposo y su peso específico, considerando una distribución lineal de empuje en la superficie de los muros. La contribución de la vegetación se calculó a partir del número de plantas que se utilizarían y su peso específico promedio en edad adulta.

Para abordar las cargas sísmicas, se utilizó el programa Prodisis v4.1<sup>7</sup>, que permitió la creación de un espectro de diseño en función de la estratigrafía proporcionada en el estudio de mecánica de suelos, el sistema estructural y la regularidad de la estructura. Este software se ajustó a la metodología del Manual de Obras Civiles de la CFE para el diseño sísmico<sup>12</sup>, según la edición 2015. Además, se determinaron las propiedades de los materiales, como el módulo de elasticidad, el módulo de cortante, la densidad, la relación de

Poisson, el esfuerzo de fluencia, el coeficiente de expansión térmica y las dimensiones, utilizando la información proporcionada por los proveedores en sus fichas técnicas.

En el diseño de elementos de concreto reforzado se emplearon las disposiciones del ACI-318-19<sup>13</sup> y las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto<sup>14</sup>, mientras que para los elementos de mampostería se siguieron las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de Mampostería<sup>15</sup>. En cuanto a las cargas mayoradas, se aplicó la metodología de diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) conforme al ACI-318-19<sup>13</sup>. El proceso de modelado, análisis estructural y diseño de los elementos resistentes se llevó a cabo utilizando la versión 23 del software SAP2000<sup>16</sup>. Además, se generaron planos constructivos detallados con especificaciones técnicas mediante el programa AutoCAD de Autodesk, versión 2021.

## 2.8. Construcción del humedal

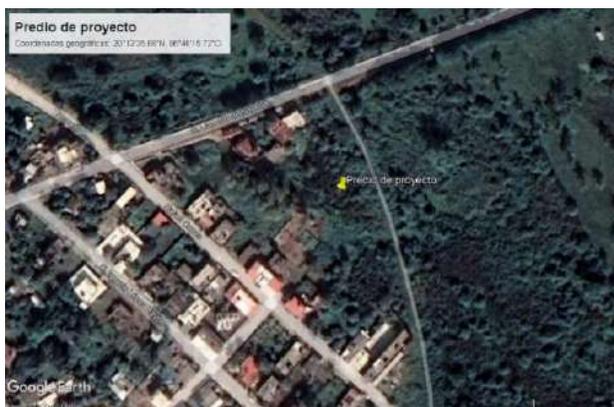
Tras el proceso anteriormente mencionado, se procedió a marcar los niveles y la forma del sistema mediante un replanteo, basado en los datos del estudio topográfico. Se contrataron equipos de trabajo altamente experimentados, dada la complejidad de construir un humedal con una forma irregular. La construcción comenzó aislando la interfaz entre la cimentación y el suelo mediante el uso de geotextil. Luego, se procedió con la instalación del acero, seguido por el cimbrado, colado y curado de la losa de cimentación. Los muros se fortalecieron con castillos y dalas de concreto reforzado de la misma sección. Para proteger la superficie de estos muros, se aplicó una capa de mortero de cemento-arena y se finalizó con un revestimiento de cemento pulido para impermeabilizarlos.

## 2.9. Adaptación del humedal

La adaptación del humedal se centró en monitorear su desempeño y realizar ajustes necesarios. Se llevaron a cabo inspecciones periódicas para evaluar el crecimiento de la vegetación, el comportamiento hidráulico y la calidad del agua tratada. Cualquier problema identificado se abordó con intervenciones que incluyeron la poda de plantas, la reposición de material filtrante y el mantenimiento de estructuras. Esto garantizó que el humedal continuara funcionando eficazmente en el tratamiento de aguas residuales y cumpliendo su propósito ambiental.

### RESULTADOS

El sitio de estudio, ubicado en Nautla, Veracruz, se sitúa en las coordenadas geográficas 20°12'35.88"N, 96°46'15.72"O (Figura 2). Se destaca por su saturación, maleza predominante y recibe las aguas residuales del drenaje municipal, generando una seria preocupación por la contaminación del agua. La figura 3 ilustra el estado inicial del lugar antes de la implementación del sistema de tratamiento.



**Figura 2. Localización del área del proyecto.**  
Fuente: Google Earth 2022.

En la figura 3 se muestra el estado inicial del sitio impactado. La limpieza del terreno se llevó a cabo con la asistencia de personal altamente capacitado y el uso de equipo de seguridad adecuado. Este proceso de limpieza del terreno implicó la eliminación de maleza y otros

elementos no deseados que habían ocupado el lugar (Figura 4).



**Figura 3. Estado inicial del sitio antes de la implementación del sistema de tratamiento.**



**Figura 4. Desmote del sitio impactado.**

El estudio topográfico proporcionó valiosa información que incluyó la identificación de las curvas de nivel, el replanteo del terreno y la generación de perfiles de corte, como se muestra en la Figura 5. Estos datos resultaron fundamentales en la toma de decisiones acerca de la ubicación estratégica del sistema. Se optó por situar el sistema en las zonas más elevadas, lo que permitió lograr la pendiente adecuada y garantizar que el flujo del caudal se produjera de manera natural, aprovechando la gravedad. Esta elección facilitó el

funcionamiento eficiente del sistema de tratamiento de aguas residuales.

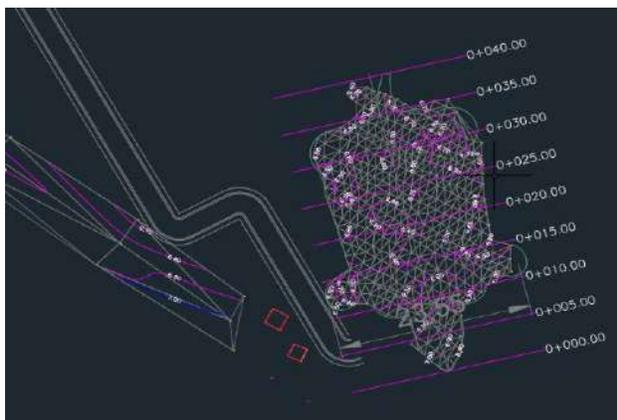


Figura 5. Curvas de nivel y replanteo de proyecto en el terreno.

Fuente: Elaboración propia.

En el estudio de mecánica de suelos se tomaron 2 PCA para la extracción de las muestras inalteradas (Figura 6) las cuales se procesaron posteriormente en el laboratorio. Con el ensaye de corte directo utilizando el estrato de arena fina, a partir 4.00 m considerando la altura total del bordo (SM), se obtuvo una cohesión de 0.12 kg/cm, ángulo de fricción interna de 5.9°, peso volumétrico del suelo 1.093 t/m<sup>2</sup>. Estos resultados permitieron la obtención de la capacidad de carga del suelo (Tabla 2), los asentamientos elásticos (Tabla 3) y el módulo de reacción del suelo (Tabla 4).



Figura 6. Extracción de muestras inalteradas del sitio.

Tabla 1. Descripción de la estratigrafía del sitio Fuente: Elaboración propia.

Rep. Gráfica	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO								C L A S I F.
	S U C S	W %	LL%	LP %	IP %	G%	A%	F%	
PCA -1									
10									
20									
30									
40									
50									
60									
70									
80									
90									
100									
120									
140	SM	ARENAS CON GRAVAS CON LIMO, COLOR CAFÉ CLARO, DE CAPACIDAD MEDIA A DENSA							
160		20.3	35.4	27.7	7.7	39.2	42.9	17.9	A
180									
200									
220									
240									
260									
290									
300									
310									
320									
330	GM	BOLEOS CON GRAVAS Y ARENAS EMPACADAS DE LIMO, COLOR CAFÉ OSCURO, DE COMPACIDAD MEDIA.							
340		45.3	55.3	31.2	24.1	51.8	17.6	30.6	A
350									
360									
370									
380									
390		36.0.1	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	A
400									
410	SM	ARENA FINA, DE COMPACIDAD SUELTA, COLOR CAFÉ OSCURO, CON MATERIA ORGÁNICA.							
420		98.4	13.2	12.6	0.6	0	52.2	48.7	A
Máxima profundidad de exploración directa = 4.20 m									

**Tabla 2. Capacidad de carga admisible para diferentes profundidades de desplante de cimentación.**  
Fuente: Elaboración propia.

Zona de influencia	*Profundidad de desplante (m)	Qadm (t/m <sup>2</sup> )	Estrato	Comportamiento
PCA 1 Y 2	1	1.5	Arena fina de compacidad muy suelta (SM)	Friccionante (52.2 % de arenas)
	1.2	1.78		
	1.5	2.21		
	1.8	2.64		
	2	2.92		

**Tabla 3. Asentamiento elástico aplicando la totalidad de la capacidad de carga admisible para diferentes profundidades de desplante de cimentación.**  
Fuente: Elaboración propia.

Zona de influencia	*Profundidad de desplante (m)	Módulo de elasticidad (kg cm <sup>-2</sup> )	Módulo de Poisson (adim)	Asentamiento elástico, cm
PCA 1 Y 2	1	2.5	0.45	2.8
	1.2			3.33
	1.5			4.13
	1.8			4.93
	2			5.46

**Tabla 4. Módulo de reacción del suelo aplicando la totalidad de la capacidad de carga admisible para diferentes profundidades de desplante de cimentación.**  
Fuente: Elaboración propia.

Zona de influencia	*Profundidad de desplante (m)	Módulo de reacción del suelo, kg/cm <sup>3</sup>	Estrato
PCA 1 Y 2	1	0.18	Arena fina, de compacidad muy suelta (SM)
	1.2	0.22	
	1.5	0.27	
	1.8	0.32	
	2	0.36	

De la tabla 1 se obtuvieron los resultados de la estratigrafía se tuvo de 0 a 2.9 m una arena con

gravas empacadas con limo con una humedad natural de 20,3%, mientras que de 2.9 a 3.9 m se encontró un estrato con boleos con arenas y gravas empacadas con limo con una humedad natural de 45.3%, de 3.6 a 4 m se encontró materia orgánica (turba) con una humedad natural de 360.1% la cual no presenta ningún valor límite, finalizando de 3.6 a 4.2 m como una arena fina de compacidad suelta con una humedad natural de 98.4 %.

Con los datos obtenidos, se llevó a cabo un proceso de mejoramiento del suelo mediante la incorporación de materiales granulares, como boleos, gravas y arenas, en el suelo de desplante. Este procedimiento se realizó utilizando medios mecánicos, como compactadoras y camiones de volteo, con el objetivo de eliminar hundimientos en el terreno. Este tratamiento se aplicó debido a la baja capacidad de carga del suelo y los notables asentamientos del suelo (2.8 cm bajo una carga estructural de 1.50 t/m) en el área de desplante (Figura 7). Una vez finalizada la incorporación de los materiales granulares, se procedió a uniformizar el terreno mediante compactación vibratoria, asegurando que alcanzara al menos un 95% de su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) y manteniendo la humedad óptima según el

ensayo AASHTO Estándar (Norma SCT Folio M MMP 1 09 06)<sup>17</sup>.



Figura 7. Suministro de material granular para la conformación del sitio.

A continuación, la capa granular fue recubierta con material de banco para preparar la superficie de la cimentación (Figura 8). Este procedimiento se llevó a cabo junto con un nuevo trazado y nivelación del terreno, lo que permitió corregir pendientes y ajustar la orientación del sistema de tratamiento (Figura 9). Fue necesario colocar una pantalla impermeable con un geotextil, esto con el fin evitar que las humedades lleguen por efectos capilares a la infraestructura construida (Figura 10).



Figura 8. Capa de material de revestimiento para desplante de la estructura.



Figura 6. Trazo y nivelación del área de trabajo y rectificación de niveles para la compactación del revestimiento.



Figura 7. Colocación de geotextil en el desplante de la cimentación del sistema.

Los resultados de las consideraciones sísmicas en el sitio revelaron que este se encuentra en la zona sísmica "B" y que el suelo de desplante corresponde al tipo II. Por lo tanto, se consideraron las características del espectro sísmico que se detallan en la Tabla 5:

Tabla 5. Valores característicos del espectro sísmico del sitio según el tipo de suelo<sup>18</sup>.

Fuente: Elaboración propia.

Zona sísmica	Tipo de suelo	$a_0$	$C_s$	$T_a$ (s)	$T_b$ (s)	$r$
B	II	0.08	0.3	0.3	1.5	0.67

### 3.6. Elección de forma y dimensionamiento del humedal

El concepto de incorporar la imagen de una tortuga en el diseño del sistema surgió con la intención de resaltar la relevancia de esta especie en el municipio de Nautla, Veracruz, y de sensibilizar a la comunidad acerca de la imperiosa necesidad de su conservación. Este concepto simboliza la estrecha relación de la tortuga con el ecosistema, representando la armonía y la belleza de esta interacción. Además, un diseño único y temático, como el de una tortuga, puede convertirse en una atracción turística. Atraerá a visitantes interesados en la naturaleza y la conservación.

La figura 11 presenta las dos primeras alternativas iniciales, que se caracterizaron por su mayor nivel de detalle y discretización, lo que a su vez resultó en un aumento en la cantidad de material necesario. Sin embargo, las diferencias en cuanto a la eficacia en la conducción del caudal eran mínimas entre estas dos opciones. Como resultado, se optó por simplificar el diseño, lo que llevó a la elección de la propuesta final, tal como se muestra en la figura 12.

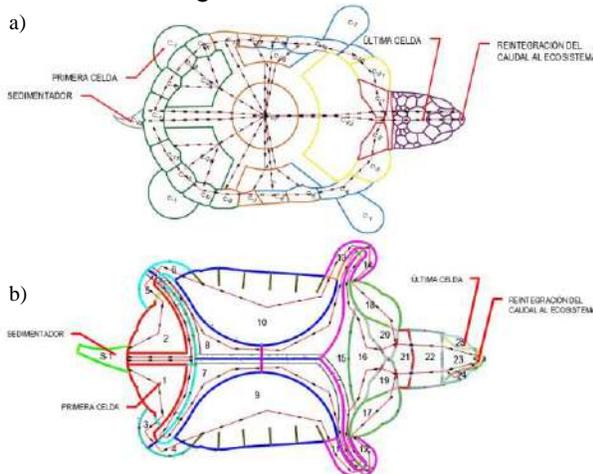


Figura 11. a) Primera y b) segunda propuesta de humedal de tratamiento con diseño de una tortuga.

Fuente: Elaboración propia.

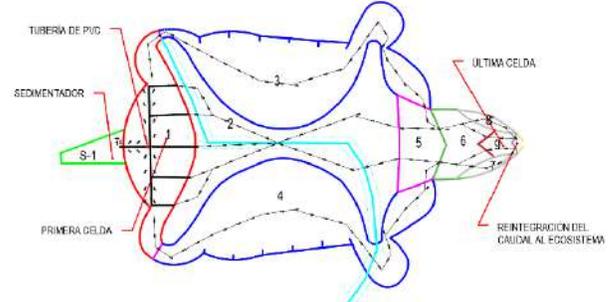


Figura 82. Diseño elegido para implementar el sistema de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia.

El humedal de tratamiento tiene una superficie total de 522 m<sup>2</sup> y presenta una variación en la altura de los estratos, que va desde 1.8 m hasta 0.7 m. Este diseño incluye un conjunto de pendientes que dirigen el flujo de agua desde el sedimentador hacia la última celda, donde se reintegra al ecosistema. Con la superficie del humedal definida, la propuesta arquitectónica, la elección del sistema estructural, los materiales con sus propiedades físicas y mecánicas, la capacidad portante del suelo y el espectro de diseño sísmico aplicado se procedió al modelado (Figura 13) utilizando el software de análisis y diseño estructural SAP2000. Este proceso brindó resultados de la capacidad de carga esperada para los elementos de concreto reforzado (Figura 14) y la distribución de esfuerzos presentados en los elementos de mampostería (Figura 15).

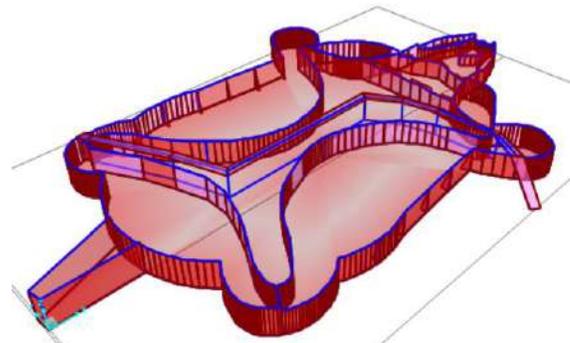
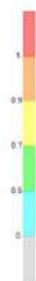
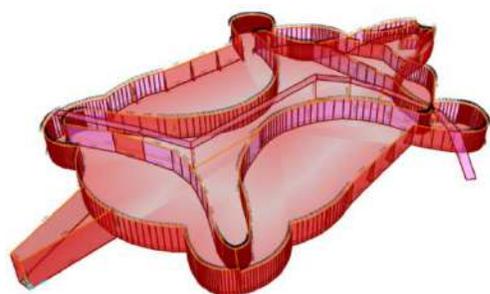


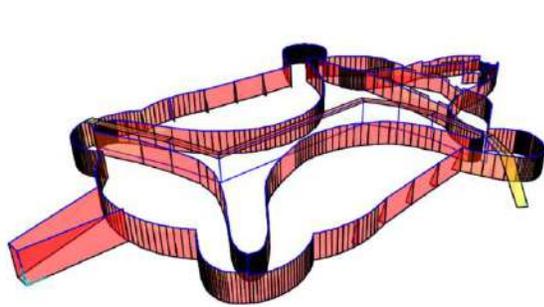
Figura 93. Modelado del sistema de tratamiento en el software SAP2000.

Fuente: Elaboración propia.



Dala de desplante	15x20 cm	Armex cadena 10x15 cm	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	en la base del muro
Dala de enrase	15x20 cm	Armex cadena 10x15 cm	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	en la mitad del muro
Dala de cerramiento	15x20 cm	Armex cadena 10x15 cm	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	En la parte alta del muro

Figura 104. Demanda-capacidad (ratios) de los elementos de concreto reforzado del sistema. Fuente: Elaboración propia.



Muro 1	15 cm espesor	Doble emparrillado de malla electrosoldada a calibre 6-6/10-10 y un emparrillado de varilla #3 en ambos sentidos	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	N/A
Muro 2	15 cm espesor	N/A	f'm=50 kg/cm <sup>2</sup>	N/A
Contrafuertes (Espolones)	15 cm espesor (1.75 m base y 1.75 m de altura)	Doble emparrillado de malla electrosoldada a calibre 6-6/10-10 y un emparrillado de varilla #3 en ambos sentidos	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	Parte central de la tortuga (máximo 3 m de distancia entre ellos)

Figura 11. Distribución de Esfuerzos de los elementos de mampostería del sistema en software SAP2000. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestran los resultados del análisis con los cuales se pudo determinar el detallado de los elementos estructurales.

Tabla 6. Resultados del detallado de los elementos estructurales del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Elemento estructural	Dimensiones	Armado	Material	Separación
Losa de cimentación	10 cm espesor	Doble emparrillado de malla electrosoldada a calibre 6-6/10-10	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	N/A
Castillos	15X20 cm	Armex castillo 10x15 cm	concreto f'c=250 kg/cm <sup>2</sup>	Max 2.5 m, en intercepciones y quiebres

## DISCUSIONES

La construcción de humedales de tratamiento es una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales, ya que permite la eliminación de contaminantes y la producción de plantas ornamentales. En este sentido, la metodología desarrollada para la construcción del humedal en Nautla, Veracruz, puede ser aplicada en otros sitios con problemáticas similares, permitiendo la implementación de soluciones sostenibles y eficientes para el tratamiento de aguas residuales. Uno de los factores principales evaluados en la selección del sitio es la proximidad a la fuente de aguas residuales ya que reduce los costos y la

complejidad del transporte de aguas residuales a largas distancias.

La disponibilidad de espacio es otro factor crítico que se abordó en esta etapa. Los resultados indicaron que el área tenía suficiente espacio para acomodar el humedal de tratamiento propuesto. La correcta disposición de las celdas y la distribución de los componentes del humedal se basaron en la disponibilidad de espacio, lo que permitió un diseño eficaz y funcional. El estudio de mecánica de suelos proporcionó información valiosa sobre la capacidad portante del suelo y sus propiedades en términos de ingeniería. Esto influyó en la toma de decisiones sobre cómo abordar y mejorar el suelo para garantizar una base sólida para el humedal.

La realización de estudios previos del área de trabajo es esencial para la planificación y ejecución efectiva del proyecto. El estudio topográfico desempeña un papel importante en este proceso. Los resultados del estudio topográfico proporcionan información valiosa sobre la topografía del terreno, lo que es crucial para la planificación y el diseño de la construcción. La elección de materiales de construcción es crucial para asegurar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo del humedal. La consideración de la disponibilidad de materiales en la región es una decisión acertada, ya que reduce costos y promueve la sostenibilidad del proyecto. Además, la elección de una losa de cimentación diseñada según las necesidades del sistema demuestra una planificación precisa y adaptada al suelo de baja capacidad portante. La utilización de mampostería confinada para las paredes garantiza la estabilidad de la estructura, y su composición proporciona resistencia y durabilidad.

La elección de vegetación es un aspecto crítico, ya que las plantas desempeñan un papel fundamental en la purificación del agua en los humedales. La capacidad de estas plantas para sobrevivir en tales condiciones y

eliminar contaminantes es esencial para el éxito del sistema. La decisión de utilizar el flujo por gravedad para dirigir el caudal a través del sistema es una elección inteligente. Este enfoque mejora la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, ya que se evita la necesidad de sistemas de bombeo costosos y de alto mantenimiento. Además, el tiempo de residencia del agua en el sistema se ha calculado cuidadosamente para garantizar que sea suficiente para el tratamiento efectivo de las aguas residuales. Esto es fundamental para asegurar que los contaminantes sean eliminados de manera eficaz y que el efluente cumpla con los estándares de calidad. El diseño del sistema no se basa únicamente en la estética y la inspiración simbólica, sino que se sustenta en un riguroso modelo matemático.

La fase de cálculo y construcción de la cimentación y estructura del humedal muestran que la seguridad, la sostenibilidad y la calidad en el diseño y ejecución de este proyecto, es un factor relevante en la construcción de un humedal de este tipo. La combinación de factores técnicos sólidos y una ejecución detallada contribuirá al éxito y durabilidad del humedal construido. Este diseño incorpora pendientes estratégicas que guían el flujo de agua desde el sedimentador hacia la última celda, donde se reintegra al ecosistema.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y a la Universidad Veracruzana por brindar todos los recursos y herramientas necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

## CONCLUSIONES

Los estudios previos para el establecimiento de un humedal a gran escala son fundamentales para garantizar la eficacia, la seguridad estructural y la sostenibilidad de estos sistemas de tratamiento. El diseño del sistema inspirado en la forma de la tortuga es un ejemplo de

cómo la funcionalidad y la estética pueden combinarse para lograr un enfoque sostenible y efectivo en la gestión de aguas residuales.

La sostenibilidad y la calidad en todas las etapas del proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y la adaptación del humedal, proporcionan la base sólida necesaria para el éxito de estos sistemas y la protección de los ecosistemas acuáticos. Como resultado, se ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas residuales que promete funcionar eficazmente, cumplir con los estándares ambientales y contribuir a la conservación del medio ambiente y del entorno local.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. C. Sandoval Herazo, J. L. Marín-Muñiz, A. Alvarado-Lassman, F. Zurita, O. Marín-Peña y M. Sandoval-Herazo, “Full-Scale Constructed Wetlands Planted with Ornamental Species and PET as a Substitute for Filter Media for Municipal Wastewater Treatment: An Experience in a Mexican Rural Community”, *Water*, vol. 15, n. ° 12, p. 2280, junio de 2023. <https://doi.org/10.3390/w15122280>.
- [2] M. E. Rahman, M. I. E. Bin Halmi, M. Y. Bin Abd Samad, M. K. Uddin, K. Mahmud, M. Y. Abd Shukor, S. R. Sheikh Abdullah & S. M. Shamsuzzaman, “Design, Operation and Optimization of Constructed Wetland for Removal of Pollutant”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(22), 8339. Noviembre de 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228339>.
- [3] P. Merot, L. Hubert-Moy, C. Gascuel-Oudou, P. Clement, B., Durand, J. Baudry & C. Thenail, “A Method for Improving the Management of Controversial Wetland”, *Environmental Manage*, vol. 37, n. ° 2, pp. 258–270, noviembre de 2005. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0391-4>.
- [4] **Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones”: NTC 2021.**
- [5] **Comisión Federal Electricidad (CFE), “Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo B.2.5 Cimentaciones en suelos”, México, 2017.**
- [6] **J. E. Bowles, “Análisis y diseño de cimientos”. 5ª edición, McGraw-Hill Educación: Nueva York, 1988.**
- [7] **Comisión Federal Electricidad (CFE), “PRODISIS 4.1.” Programa de Diseño Sísmico. INNEL: México, 2015.**
- [8] **L. E. Pérez-Rocha, U. H. Mena, C. A. Tena, S. E. Mena, “Espectros de diseño sísmico para la nueva versión del manual de diseño de obras civiles de CFE”. Sociedad mexicana de ingeniería sísmica A. C. pp. 1-20, 2015.**
- [9] **M. Alarcón-Herrera, F. Zurita-Martínez, H. Hadad, A. García-Pérez, G. Vidal, M. Maine & I. Vera-Puerto. “Humedales de tratamiento: alternativa de tratamiento de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina”. Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá, Colombia, 2018.**
- [10] **Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), “Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones”. México: NTC 2021.**
- [11] **ASCE 7-16. “Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures”. Reston, Virginia, US: American Society of Civil Engineers, 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)7-16-1](https://doi.org/10.1061/(ASCE)7-16-1)**
- [12] **Comisión Federal Electricidad (CFE), “Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo”. México: INEEL, (2015).**

**[13] American Concrete Institute (ACI), “Building Code Requirements for Structural Concrete”. Estados Unidos de América: ACI 318-19, 2019.**

**[14] Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto”. México: NTC 2021.**

**[15] Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF), “Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería México”: NTC 2021.**

**[16] CSI, “SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design,” Computers and Structures Inc., Berkeley, California, 2021.**

**[17] Secretaría de comunicaciones y transporte (SCT). Normativa para el método de muestreo y prueba de materiales. M MMP 1 09/06. Suelos y materiales para terracerías 1. Compactación AASHTO 09. México, 2001.**

**[18] Secretaría de comunicaciones y transporte (SCT). Normativa para el Proyecto de puentes y estructuras. PRY-CAR-6-01-005/01. Proyectos de Nuevos Puentes y Estructuras Similares 01. Sismo 005. México, 2001.**

## Sistemas de riego; aplicaciones y beneficios en la región de Teziutlán.

Víctor Manuel García-Méndez<sup>1</sup>  
Hugo Alberto Bravo-Quintero<sup>2</sup>  
Edgar Degante-Aguilar<sup>3</sup>  
Jorge Rivera-Flores<sup>4</sup>

**Contacto:**

hugo.bq@teziutlan.tecnm.mx

<sup>1</sup> Estudiante de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

<sup>2</sup> Docente investigador del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

<sup>3</sup> Docente investigador del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán.

<sup>4</sup> Estudiante de Doctorado de Ciencias en la Ingeniería en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

**Resumen:** La importancia de los sistemas de riego no simplemente es para facilitar el humedecimiento del terreno, sino también para poder ayudar a obtener una mayor productividad, teniendo un ahorro de agua y mejor efectividad para fertilizar los cultivos ya que el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua en el suelo para reponer lo consumido por el cultivo. A su vez, un sistema de riego es la estructura diseñada o construida que transporta agua hasta la siembra. Elegir un sistema y combinarlo con una acertada estrategia de riego asegura una producción más eficiente puesto que el riego consiste en aportar agua a los cultivos por medio del suelo para satisfacer sus necesidades hídricas que no fueron cubiertos mediante la precipitación, o bien para incrementar la producción agrícola al transformar zonas de agricultura de secano en zonas de regadío. Se utiliza en la agricultura y en jardinería. También un riego óptimo es el que logra un balance hídrico perfecto en el suelo. Para esto, además de las necesidades de la planta hay que considerar variables como: las

características físicas del suelo, la evaporación, evapotranspiración, clima, entre otras. Al tomarlas en cuenta es posible ser más eficiente en el riego y conseguir una mayor economía del agua. El presente trabajo busca describir los Sistemas de riego utilizados en la región de Teziutlán. Los resultados presentados describen los diferentes sistemas de riego utilizados, además de sus beneficios en los campos agrícolas de la región.

**Palabras clave:** Sistemas de riego, Agricultura, Aplicaciones de riego.

**Abstract:** The importance of irrigation systems is not only to facilitate the wetting of the soil, but also to help obtain greater productivity, saving water and better effectiveness in fertilizing crops, since irrigation is the timely and uniform application of water to the soil to replenish what is consumed by the crop. In turn, an irrigation system is the designed or built structure that transports water to the planting. Choosing a system and combining

***it with a successful irrigation strategy ensures a more efficient production since irrigation consists of providing water to crops through the soil to meet their water needs that were not covered by precipitation, or to increase agricultural production by transforming areas of rainfed agriculture into irrigated areas. It is used in agriculture and gardening. An optimal irrigation is also the one that achieves a perfect water balance in the soil. For this, in addition to the needs of the plant, it is necessary to consider variables such as: the physical characteristics of the soil, evaporation, evapotranspiration, climate, among others. By taking them into account, it is possible to be more efficient in irrigation and achieve greater water economy. The present work seeks to describe the irrigation systems used in the Teziutlán region. The results presented describe the different irrigation systems used, as well as their benefits in the agricultural fields of the region.***

**Key words:** *Irrigation systems, Agriculture, Irrigation applications.*

## Introducción

La posibilidad que abre el uso del riego complementario en la producción de granos dentro de la Región Pampeana, es una herramienta adecuada para lograr dicho objetivo.

"Si bien el riego en las zonas húmedas y subhúmedas es actualmente poco importante (representa solo el 14% de la superficie total regada del país), su ritmo de crecimiento, de 27% en los últimos 25 años, ha sido muy acelerado comparado con el 16% de las zonas áridas en el mismo periodo."

"El uso del agua subterránea produjo grandes cambios en lo que se refiere a utilización de recursos. En primer lugar permití

la aplicación de métodos de riego modernos como la aspersión o el goteo. En segundo lugar el elevado costo del agua determino la introducción de métodos de conducción que redujeran las pérdidas del sistema. Fueron también los altos costos de búsqueda y explotación del agua subterránea lo que permití avanzar considerablemente en cuanto a optimizar el uso de la tierra, la aplicación del agua y la preparación del terreno."

"...el factor limitante de primer orden es el agua disponible..." "La agricultura de riego, en comparación con la de secano, permite multiplicar notablemente el rendimiento de los cultivos y asegurar las cosechas al desligarlas de la influencia de las lluvias. Si bien los costos requeridos para habilitar una superficie al riego son generalmente elevados, en los países desarrollados la tasa anual de expansión de la superficie de cultivos regados cuadruplica a la de los cultivos de secano" (Tolomio, 2020). El sistema de riego es costoso y exige un manejo técnico muy ajustado para evitar las graves consecuencias que puede acarrear la incorrecta utilización del suelo y especialmente del agua de riego.

La identificación de tierras con distinta aptitud para riego complementario en zonas de secano, de acuerdo con la combinación adecuada de características morfológicas y físico químicas del suelo dominante, junto con la profundidad, caudal y calidad del agua subterránea. Los sistemas de riego abarcan 1,5 millones de km<sup>2</sup> que es el 5% del área cultivada del país" (Tolomio, 2020)

Un sistema autónomo en agricultura ayuda al desarrollo del cultivo sin la presencia permanente del cultivador, permitiendo controlar un área más grande de cultivo, junto con los beneficios adicionales que trae para el consumo, el uso y el menor desperdicio de fertilizantes y de agua, sumado al mejor rendimiento del cultivo con mejores características del producto. Esta tendencia propone actualmente un concepto vital para ser

más productivo y competitivo en el mercado. Es por esta razón, que la agricultura ha tomado una gran relevancia en los últimos años, con investigación desde diferentes frentes, para obtener un alto grado de producción, impactando lo mínimo posible el suelo y el medio ambiente. Lo anterior, se consigue mediante la implementación de tecnología para la producción, planeación y gestión automatizada de los cultivos en lo que se denomina como “Agricultura de Precisión” como lo describe (Blackmore). De esta manera, se puede obtener el máximo potencial por unidad de área, generando ahorro en insumos y mejor riego, menor degradación del suelo, rendimientos óptimos en las cosechas y menor costo de producción, a partir del uso de equipos automáticos basados en desarrollo de sensoria especializada por infra rojo y sistemas de detección por visión, tecnologías de posicionamiento global (GPS) para control vehicular y detección de límites de campo. (Hernández Pérez, 2018)

Los sistemas de información geográfica (GIS) para distribución del suelo y aplicaciones robotizadas para siembra, suministro de fertilizantes, comunicación inalámbrica para irrigación, irrigación por aspersión de sólidos y líquidos y desmalezado entre otros. Estos sistemas basados en tecnologías capaces de hacer un mejor manejo del cultivo a partir de sus condiciones químicas, físicas y geográficas con sistemas computarizados; para hacer un adecuado cubrimiento del terreno y logrando a la vez mayor productividad en forma localizada, con la variación punto a punto en la aplicación de insumos. En aplicaciones sobre maíz, hay sistemas de riego recientes dependiendo de la variabilidad meteorológica sobre la distribución del agua en sistemas de pivote central, un prototipo de programador de riego y en planificación y control de riego basado en humedad del suelo. (Balasooriya, 2021)

El objetivo del presente trabajo era desarrollar un sistema automático de riego

para un cultivo de maíz, buscando mayor aprovechamiento del recurso hídrico de difícil disponibilidad en la región; cuyo propósito fundamental era eliminar los daños por aplastamiento y fractura de las plantas debidos al movimiento de mangueras de riego, las pérdidas por falta de irrigación en varias áreas, los costos adicionales por mano de obra evitando desperdicios de agua, gracias al consumo estrictamente necesario y evitar la erosión del suelo y el desabastecimiento de otros cultivos por desvío de afluentes hídricos. (Mousavi, 2021)

El proyecto se llevó a cabo en la finca la Reforma, del municipio de Machetá, Cundinamarca; sobre un cultivo de maíz tipo PORVA, tomado como cultivo piloto para la implementación del sistema de riego autónomo [16]. El sistema se activa por medio de sensores ubicados en terreno que envían las lecturas de humedad relativa y temperatura a un sistema de adquisición de datos para la toma de decisiones, activando o desactivando los actuadores del sistema de aspersión. También se desarrolló un sistema de información básico, que sirvió como plataforma para que el usuario conociera el desempeño del sistema.

El sistema diseñado es flexible y permite la expansión para facilitar en un futuro la implementación del sistema de dosificación de fertilizantes al suelo, con manejo independiente de los tanques, y la dosis ajustada a los parámetros requeridos en cada punto del recorrido; garantizando las concentraciones de cada nutriente, mediante la aplicación de acciones de control simultáneas. (Pannunzio, 2014)



Figura 1. Prueba preliminar de funcionamiento del sistema de riego con un aspersor. Fuente: [13]. Muñoz, G., 2015.



Figura 2. Ejemplo de un vivero ubicado en Teziutlán que usan el sistema de riego por aspersión, lamentablemente tome la foto después de que ya se había regado. elaboración propia

en la región de Teziutlán y al rededor, el principal problema que tienen varios sectores de la industria agropecuaria es:

- Mal uso del agua
- Mal uso de sistemas de riego
- Plagas
- Pesticidas y fertilizantes
- Suelo

**Paso 3:** La metodología a utilizar en la presente investigación fue basada en el libro de (Sampieri, 2014), ya que nos da un correcto seguimiento para obtener la información adecuada.

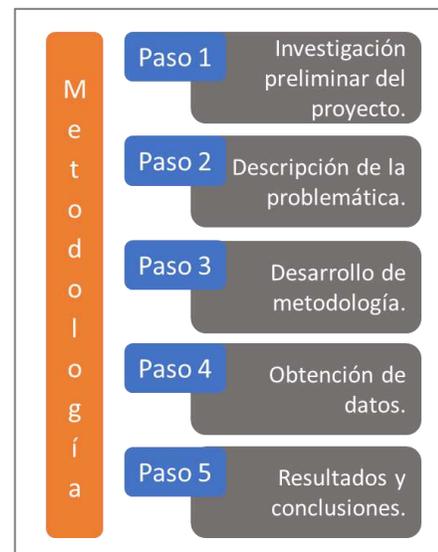


Figura 3. Diseño metodológico.

## Metodología

**Paso 1:** La presente investigación trata acerca de los problemas que presenta la agricultura de acuerdo con los sistemas de riego de dicho sector, ya que, con lleva a una problemática con el mal uso del agua y más que nada en el uso de pesticidas y fertilizantes.

**Paso 2:** En la región de Teziutlán y a los rededores, el principal problema que tienen varios sectores de la industria agropecuaria es

**Paso 4:** Para la obtención de datos en esta investigación, se llevó a cabo la búsqueda de diversos artículos para complementar dicho trabajo, los cuales se describen a continuación:

1. “Evaluación hidráulica de sistemas de riego con tuberías multicompuertas” este artículo habla sobre como por medio de dicho sistema de riego y sus aptitudes hace un riego eficiente ya que esta mejora y su eficiencia en el sistema de compuertas es muy

- completa es decir que además de ello, también puede utilizarse de una manera de fertirriego y así reducir notoriamente el uso de fertilizantes. (Brown, 2017)
2. “Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación comparados con dos métodos convencionales”. como su nombre lo dice dicho método va dirigido especialmente donde el clima es muy seco con exceso de sol y no abundan las lluvias ya que es tipo de sistema de riego va subterráneamente capaz de mantener el suelo húmedo, apto para los cultivos y así crecer sin complicaciones, (Lucero, 2019)
  3. “Sistema de riego basado en el internet de las cosas (Lot) este tipo de sistema de riego es muy novedoso ya que gracias al internet podremos controlar sin la necesidad de estar presentes los, aspersores, la cantidad de riego, checar temperatura, filtrar fertilizante por medio del riego, etc. (Diego Peluffo, 2021)
  4. “Sistema de riego inteligente borroso” dicho tipo de sistema a comparación de un riego normal, además Este sistema recibe información detallada de cada uno de los jardines, sobre la situación de riego y factores externos como lluvia, averías o actos de vandalismo casi parecido al sistema de riego (lot) (Guijarro, 2021)
  5. “Multifuncionalidad del riego” difiere a nivel de país, de disciplina científica o de tipología de funciones asociadas y reconocidas directamente con su aplicación: bienes públicos, bienes identitarios, patrimonio agrícola, ocupación rural, seguridad alimentaria o modelo de desarrollo rural son sólo algunos ejemplos de vocablos vinculados a su definición (Gomez, 2007)
  6. “Sistema de riego inteligente basado en IoT para mejorar la eficiencia del riego agrícola” no solo se puede conservar el agua, sino que también se pueden cultivar plantas más sanas. Aunque se han propuesto varios sistemas de riego inteligente, actualmente ninguno de los sistemas propuestos considera tanto el pH del agua de riego como la humedad del suelo juntos. (Balasooriya, 2021)

**Paso 5:** en dicha región el mal uso del agua en la industria agropecuaria es muy notorio ya que algunos optan por un riego normal y eso hace que el agua sea desperdiciada también es el sector que más agua utiliza junto con la ganadería. Según la Conagua, 57% del total utilizado, se desperdicia principalmente por infraestructuras de riego ineficiente que se encuentra en mal estado, es obsoleta o tiene fugas.

Mal uso de agua : dentro de la industria el mal uso de los sistemas de riego no es muy común solo para aquellos que van empezando, no tienen conocimiento o no tienen algún profesionista para que los ayude ya que mucho de ellos lo toman porque lo vieron en algún otro lugar y su error que se presenta es que piensan que funcionara en su cultivo y ciertamente no es así ya que hay factores que varían uno de ellos es el tipo de suelo, el tipo de suelo tiene mucho que ver en esto ya que ciertos suelos no son aptos para cualquier sistema de riego uno de ellos es el suelo arenoso en ese tipo de suelo el problema es que se seca y evapora muy rápido el agua es por eso que para ese tipo de suelo e sistema de riego es subterráneo, es por eso que de ahí vienen muchos problemas sobre sistemas de riego ya que el uso de agua agrícola permite cultivar frutas y verduras y criar ganado, que es una parte principal de nuestra dieta. El agua agrícola se utiliza para riego, pesticidas, aplicaciones de fertilizantes, enfriamiento de cultivos (por ejemplo, riego ligero) y control de heladas.

Plagas : otro de los problemas que presenta la agricultura son las plagas , el mal aplacamiento de pesticidas y mal uso de fertilizantes ya que aunque no es muy notorio estos van de la mano ya que por medio de un sistema de riego correcto puede abarcar estos tres problemas es decir que por medio del sistema de riego seleccionado por aspersión , goteo , subterráneo , etc. Dentro del sistema se añade el producto y se puede solucionar los 3 problemas ya que hay productos reconocidos para combatir plagas y a la vez fertiliza el cultivo de una manera eficiente

Suelo: como se sabe hay distintos tipos de suelo es decir que para cada suelo hay diferentes tipos de cuidados, diferente tipo de cultivos, y obviamente diferentes tipos de sistemas de riego y es por eso que el principal problema viene del mal uso de regado por no saber cuál tiene mejor beneficio para tanto el suelo como los cultivos

En esto se basa la problemática de la agricultura que mucho tiene que ver con el agua y sistemas de riego o el mal cuidado de los cultivos pero la mejor solución que se encontró fue por medio del sistema de riego ya que se pueden encontrar los mejores beneficios para los cultivos, suelo y operarios ya que como se sabe hay sistemas de riego automatizados.

## Resultados.

### Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT)

Este método es muy similar a uno sistema de riego inteligente ya también ocupa ciertos componentes como lo son: mangueras o tuberías, según sea el caso; válvulas de paso y motobombas, que permiten el flujo de agua a través del sistema hacia el cultivo o terreno a

regar aunque este método está pensado para el sector agropecuario también puede usarse en casa a la hora de regar pequeños huertos en viviendas o desde el simple hecho de poder regar el jardín.

Pero bien hablando de internet es maravilloso poder ver como este ha evolucionado de una muy significativa hasta llegar al llamado internet de las cosas conocido también como (IoT) ha este se le conoce como IoT a la capacidad de poder crear una conexión entre objetos del mundo cotidiano, procesos, internet y personas, así mismo logrando una interconexión en la cotidianidad, permitiendo compartir la información solicitada y almacenarla si se desea en bases de datos propiamente creada para tal fin , así teniendo un control y acceso a esta información desde cualquier parte en la que se encuentre una persona, obviamente contando con acceso a internet ya que hoy en día no hay mucho problema con tener internet ya que ah este punto es muy esencial y se puede tener de manera cableada o satelital esta con la finalidad para los sistemas de riego del sistema agropecuario

Pero este sistema (IoT) tiene mayor ventaja creando así una agricultura con mayor precisión que consiste en utilizar la tecnología del entorno que brindan la informática y comunicaciones junto con sensores y herramientas, viéndose reflejados en la administración, manejo de cultivos y mismo dar una información de gozada de lo que este plantado

Un ejemplo de esto es el nodo sensor ya que este es el encargado de obtener todos los datos que son proporcionados por los sensores y así poder transmitirlo al nodo coordinador o receptor.

otro ejemplo es el nodo sensor con respaldo Este nodo está compuesto por sensores de Humedad y temperatura que están colocados en el suelo, sucesivamente con una batería de litio, un panel solar y un gestor de carga que

permiten la auto alimentación de corriente en el sistema; un Arduino que permite obtener los datos obtenidos y reportados por los sensores, mostrarlos en el Display de manera local, almacenarlos en una memoria MicroSD y así registrando la fecha y hora obtenida del módulo RTC (Reloj en Tiempo Real) y finalmente transmitir la información al nodo coordinador a través del módulo Xbee utilizando protocolo de comunicación ZigBee.

También, otro sensor utilizado en este sistema es el nodo coordinador y uno de los más importantes puesto que es el encargado de recibir los datos transmitidos de los diferentes nodos sensores para así poder almacenarlos y permite el control de los actuadores (electroválvulas, motobombas) este está compuesto por un micro computador que lleva por nombre raspberry, que actúa como eje central del nodo esto a través de un módulo explorador del xbee que permite capturar todos los datos que son enviados por todos los sensores y almacenarlos. Para el control de los actuadores el Raspberry Pi se comunica con el Arduino así usando el protocolo I2C y mismo con el apoyo de los módulos Relés que permiten manejar voltajes que van desde 12V o 110 V. Este módulo contiene una copia local del servidor que está en la nube, permitiendo que el sistema pueda funcionar sin conexión a Internet.

Pero para el control y manejo de los nodos y actuadores del sistema de riego se necesita un software es así que se desarrolló una página web en la cual hay botones que le permiten a la persona, trabajador u operador encender y apagar de la motobomba que hace fluir el agua por el sistema, y de la misma manera las diferentes electroválvulas que permiten el riego en los cultivos mediante los aspersores, mismo que también se desarrolló una aplicación de uso móvil en sistema operativo Android Esta aplicación funciona por medio de Bluetooth, y esta se debe de conectar al módulo del mismo protocolo que tiene el

nodo central del sistema. Esta aplicación solo permite el encendido y apagado de los actuadores (motobomba y electroválvulas).

### **Evaluación hidráulica de sistemas de riego con tuberías multicompuertas para el riego de la caña de azúcar en la Agricultura.**

Este tipo de riego a diferencia de otros tiene por detrás muchos investigadores que llegaron a la conclusión de que este tipo de riego en especial es el adecuado para este tipo de sembrado (caña de azúcar) donde también tiene que ver mucho el suelo pero adentrándonos a este método de sistema de riego este está expresado dentro del desarrollo de modelos de simulación y tecnologías avanzadas y la utilización de numerosos dispositivos para la automatización de este sistema de riego en las cañas de azúcar. Dicho esto dentro del Sembrador para poder tener un riego muy eficiente se tiene que tener en consideración ciertas cosas tales como el caudal de entrada en la cabecera del surco así mismo como el flujo del agua y también mismo los tiempos de riego necesarios para que el agua llegue al final del surco en la cantidad deseada. También, una forma de mejorar la eficiencia de este sistema es colocar una bomba pulsadora para que el agua salga con mayor presión aplicada en forma discontinua y penetre en el suelo de una forma más eficiente. así como también, puede usarse una válvula de riego por impulsos ya que esta mejora la eficiencia en el sistema de compuertas es decir que además de eso Puede utilizarse de una manera de fertirriego y así reducir notoriamente el uso de fertilizantes. Los esfuerzos por alcanzar altas eficiencias de aplicación en los sistemas de riego por surcos están limitados por la amplia variación espacial y temporal de las características de infiltración del suelo y a comparación de otros este método ha tenido uno de los mejores resultados en la reducción

del tiempo y avance a comparación del método convencional.

Este método consiste en la utilización de tubería en este caso (PVC) de una manera en la que no se vea y en este caso sería por debajo de la tierra con una longitud de 1000 metros ya que esta sale de la estación de bombeo y para la entrega de agua en las tuberías de PVC tiene compuertas que son regulables cada 1.50 metros para la descarga caudal en el surco.



Figura 4. Diseño de sistema de riego con tuberías y multicpuertas. Fuente: Oscar Brown Manrique (Oliver, 2014)

**Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en suelo desnudo comparado con dos métodos convencionales.**

Hablando sobre dicho método que tiene de 0.20 a 0.40 metros es capaz de ahorrar 27.4% de agua durante el riego a comparación de uno tradicional que es un desgaste de agua para poder tener un buen riego por los resultados anteriores el objetivo en este sistema de riego fue la cantidad de agua que se desperdicia por la evaporación donde se comparan con otros

dos sistemas de riego y esos dos son superficiales que donde dio mejores resultados fue en el subterráneo

Estos 3 sistemas fueron puestos a prueba nuevamente para ver si aun siguen arrojando los mismos resultados en un campo abierto, como se comenta se usaron para evaluar la evaporación de suelo con los dos sistemas superficiales y uno subterráneo este diseño experimental fue completo al azar con un arreglo en franjas, con tres tratamientos y tres repeticiones, donde cada repetición corresponde a 1 m de longitud. La separación entre sistemas de riego fue 2 m y entre repeticiones 1 m.



Figura 5. Diseño de un sistema de riego subterráneo para abatir la evaporación en el suelo.

Además, proporciono, que se añade agua a un depósito instalado que va a un metro de altura donde mismo distribuye por medio de una manguera que va conectada a cada emisor Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 298 p. (Mendez Jurjo, 2018) (Lucero, 2019)



Figura 6. ejemplo de riego subterráneo

### Sistema de riego inteligente borroso.

Este sistema de riego en mayor mente está pensado por el problema de que solo poco porcentaje de agua en el mundo es agua dulce aproximadamente un 2.5% de agua dulce en el planeta y es por eso que se hizo este sistema de riego ya que es capaz de ahorrar mucha agua a comparación de un riego normal, además Este sistema recibe información detallada de cada uno de los jardines, sobre la situación de riego y factores externos como lluvia, averías o actos de vandalismo. En caso necesario se paraliza el riego e incluso, se avisa a los operarios mediante mensajes al teléfono móvil.

Puesto que el sector agrícola es el que más consume agua en el mundo cerca del (65% de agua) no sólo porque en la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse, sino mismo, porque no se cuenta, en muchas ocasiones, con un sistema de riego eficiente. Este consiste en un sistema de riego inteligente utilizando lógica borrosa que permite simular por software la evolución de un entorno de

regadío simple en el tiempo, permitiendo modificar ciertas condiciones ambientales y posibilitando la elección de realizar inferencias para el cálculo del tiempo de riego según lógicas del producto, de Lukasiewicz o de Zadeh.

Dicho esto se inició un proyecto que lleva por nombre Optimizagua dicho proyecto se inició en octubre del 2003 hasta 2006 y arrojó unos resultados muy buenos ya que en sus jornadas en mayo de 2006 en logro ha demostrado que combinando los sistemas tradicionales de recogida y almacenamiento de aguas pluviales con la implantación de sistemas de riego inteligentes se puede conseguir un ahorro de agua superior al 60% en zonas verdes públicas, 50% en zonas verdes privadas y 40% en agricultura (dependiendo del cultivo) es decir que sería un buen ahorro de agua dulce. Entonces en estas condiciones, se considera importante el desarrollo de un buen sistema de riego inteligente que, utilizando técnicas de inteligencia artificial y basándose en lógica borrosa, consiga regular el riego del plantío, vivero, huerto en tiempo real optimizando o ahorrando el agua de un depósito del que se surte y reaccionando ante la situación externa. (Guijarro, 2021) (Diego Peluffo, 2021)



Figura 7. Ejemplo de sistema de riego inteligente borroso.



Figura 8. Ejemplo de vivero en la región de Teziutlán.



Figura 9. Vivero donde es utilizado dicho sistema de riego en la región de Teziutlán.

### Sistema de riego por aspersión

Cerca de la región de Teziutlán la mayoría de los viveros o campos usan el sistema de riego por aspersión ya que es muy efectivo para las plantas ya que las deja con una buena humedad, y por lo visto el sistema de riego es uno de los favoritos de los agricultores ya que lo distinguen por ser de precio accesible, eficiente, duradero, fácil y económico en mantenimiento, largo alcance, etc.

El sistema de riego por aspersión es aquel que distribuye el agua en forma de gotas pulverizadas. Como si imitara a la lluvia. Esta

agua suele cogerla de un depósito o acumulación de agua con el que está conectado. Consigue que el agua se distribuya por todo el cultivo, sin generar encharcamientos. De ahí que los expertos señalen este sistema como uno de los que mejor distribuyen el agua.

Un sistema de riego por aspersión está compuesto por los siguientes elementos: una unidad o grupo de bombeo; una serie de tuberías principales, hidrantes, elementos que permitan realizar el control y la regulación del agua; una o varias tuberías laterales o ramales de riego; y, por supuesto, aspersores. Estos aspersores los podemos encontrar con características muy diferentes. Tanto fijos como semifijos o móviles. De manera que dependiendo de las particularidades de nuestro terreno, de la fuente de agua y del tipo de cultivo, optaremos por unos o por otros. (Sertecriego, 2020)



Figura 10. Ejemplo de sistema de riego por aspersión.

Hubo unos resultados favorables en todo, tanto en los sistemas de riego instalados, el crecimiento de cultivos, el tipo de suelo, fertilización, etc.

Sistemas de riego: se instaló dependiendo el suelo, cultivo, prestaciones, presupuesto entre otros y como resultado se obtiene un buen desempeño dentro de los cultivos como en el caso del sistema de riego subterráneo.

Sistema de riego subterráneo para combatir la evaporación: el sistema de riego subterráneo es una alternativa para incrementar la productividad del agua en la agricultura, en virtud de que minimiza la evaporación superficial e incrementa la eficiencia de aportación hídrica en zona de raíz



Figura 11. Ejemplo de un vivero ubicado en Teziutlán que usan el sistema de riego por aspersión, lamentablemente tome la foto después de que ya se había regado. Elaboración propia



Figura 12. Se muestra el dispositivo subterráneo que es utilizado para evitar que el agua se evapore (informe agrícola)

Gracias a embace de un estudio que se aplicó se dictaminó que era el mejor riego para este tipo de suelo (seco), ya que por medio del sistema de riego fue que el cultivo. Además de aprovechar el riego fue fertilizado mediante

este y el ahorro de agua fue de un 45% a comparación de un riego normal



Figura 13. Se aprecia con mayor detalle el funcionamiento y desarrollo en el cultivo de maíz.

### Otro tipo de sistema de riego es Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT):

Como su nombre lo indica este tipo de riego es basado por el internet de las cosas quiere decir que es automatizado y utilizable por medio de internet para mayor beneficio del operario y sin necesidad de que el operario este presente, este tipo de sistema de riego fue utilizado en un invernadero ya que es donde es más común que sea utilizado.

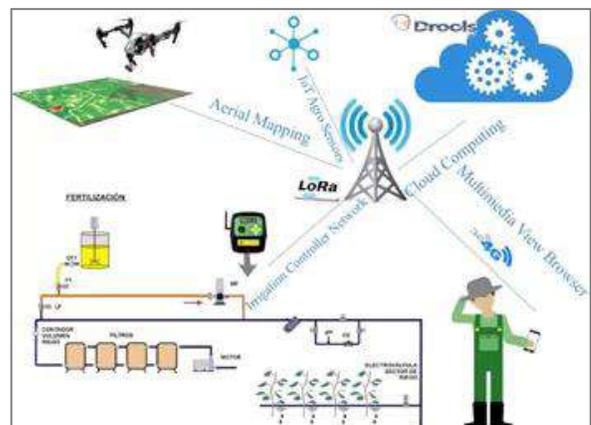


Figura 14. Diagrama de funcionamiento del sistema de riego por internet de las cosas (universidad internacional de riego)

También, fue muy positivo ya que tiene aún mayor más beneficios tanto para el cultivo y para el operario ya que para el operario puede estar desde la comodidad de su hogar o

cualquier otro lugar y poder supervisar mucho más a fondo los cultivos media una red ya sea wifi o telefónica en este caso 4G y para los cultivos de igual manera mucho más grades beneficios como verter dentro del riego pesticidas, fertilizantes, ver humedad, controlar el flujo de agua, entre otras.



Figura 15. Demostración del sistema más afondo (IAT)

sistemas de riego con tuberías multicompuertas: Aunque el sistema de riego es muy bueno no es muy recomendado ya que esta gasta excesivamente el agua a comparación de las otras y no se puede obtener beneficio, así como que no se puede fertilizar a la vez, no todos los cultivos son aptos para este sistema, tampoco el suelo.



Figura 16. Ejemplo del sistema de riego (Sistemas de riego)

El agua se aplica por medio de perforaciones en las mangas, estos orificios se encuentran a distancias, calculadas unas tras otras para una mayor distribución de agua en los surcos de cultivo. En cada perforación de las mangas de riego de colocan válvulas para mantener el control del agua de salida. Este sistema de irrigación es barato y de fácil instalación. Su mantenimiento y operación es simple comparado con otros sistemas de riego agrícolas.

Disminuye las pérdidas por infiltración, alcanzando altas eficiencias de irrigación. Los costos de inversión son mínimos; así como los costos de mantenimiento y operación además de que es un sistema fácil de instalar y trasportar, con este sistema también se mejora la fertilización de los cultivos.

Como resultado final se demostró nuevamente que para que un sistema de riego sea apto para suelo y cultivo se tiene que llevar a cabo un estudio solo así se podrá utilizar el sistema de riego adecuado y en automático los resultados serán muy buenos y beneficiarios dentro del campo o sector agrícola en el que se encuentre ya que como se sabe los sistemas de riego son diferentes tanto en beneficios como en costo de instalación o costo de mantenimiento siendo el más caro es el es Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT) ya que se utilizan muchos recursos como lo son sensores , válvulas de riego, tubos , internet o red , operario, etc. Esto sin contar costos de mantenimiento, pero por otro lado es el que más beneficios da a la hora del riego en comparación con las demás.

### Discusiones:

Los sistemas de riego son muy útiles para la sociedad y la agricultura ya que con estos es posible ahorrar el agua que para muchas otras puede ser muy necesaria como un ejemplo el

hospital o escuelas es decir que gracias a los sistemas de riego podemos también hacer que los cultivos tengan mejores beneficios ya que por medio de estos se pueden hacer muchas cosas, es decir con estos sistemas de riego se pueden ahorrar muchos recursos y además son fáciles de utilizar y muy eficientes se puede usar en el hogar

### Conclusiones:

los sistemas de riego son muy importantes no solo para los cultivos si no también para que el riego sea más eficiente dependiendo del tipo de suelo y cultivos, pero gracias a los sistemas de riego no solo se obtiene un riego sino que dependiendo el sistema se puedes obtener más beneficios como en el caso del sistema basado en el internet de las cosas mismo que se puede controlar a distancia que a la vez puede fertilizar y poner pesticidas para las plagas o insectos sin dañar el cultivo de manera efectiva, además se dio a conocer que usando sistemas de riego el ahorro de agua aumenta de 45% a 55% ya que si no se usa la perdida es muy notoria misma que el cultivo pierde beneficios.

Las grandes industrias hasta el gobierno mismo se deben enfocar en los sistemas de riego ya que ayuda tanto al planeta con el ahorro de agua y también al productor con mejores cultivos.

### Agradecimientos

Finalmente, queremos agradecer a la academia de ingeniería industrial del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán y del Instituto Tecnológico Superior de Misantla por las facilidades para desarrollar el proyecto. También, agradecemos a los viveros y campos que nos permitieron tomar evidencias ya que facilitaron el desarrollo de esta investigación.

### Trabajo a futuro

Se espera que para futuros años el uso de sistemas de riego sea muy notorio en la industria de la agricultura sin importar el tamaño del terreno, también se espera que los agricultores antes de involucrarse en los sistemas de riego tengan conocimiento o alguien que los tenga y puedan elegir correctamente el que mayor beneficio les otorgue. Así como disminución de uso de agua en parcelas, disminución de gastos por tarifa, mayor eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, la obtención de mayor producción y mejor calidad de cultivos, mayor disponibilidad de tiempo a productores para que así tengan tiempo de realizar otros deberes y mayores ingresos económicos

### Referencias.

**Balasoorya, T. N. (09 de 02 de 2021). IEEE.**

Obtenido de IEEE:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9345902>

**Brown, O. (3 de 07 de 2017). researchgate.**

Obtenido de researchgate:

[https://www.researchgate.net/publication/320178931\\_Evaluacion\\_hidraulica\\_de\\_sistemas\\_de\\_riego\\_con\\_tuberias\\_multicompuertas\\_para\\_el\\_riego\\_de\\_la\\_cana\\_de\\_azucar\\_en\\_la\\_Agricultura](https://www.researchgate.net/publication/320178931_Evaluacion_hidraulica_de_sistemas_de_riego_con_tuberias_multicompuertas_para_el_riego_de_la_cana_de_azucar_en_la_Agricultura)

**Brw, O. (s.f.).**

**Diego Peluffo. (17 de abril de 2021).**

ResearcGate. Obtenido de ResearcGate:

<https://www.researchgate.net/publication/315793360>

**Gomez, J. A. (14 de 04 de 2007). Dialnet.**

Obtenido de Dialnet:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3770868>

**Guijarro, M. (8 de julio de 2021).**

ResearchGate. Obtenido de ResearchGate:

<https://www.researchgate.net/publication/31514045>

- Hernández Pérez, F. (2018). Inspección automática con videovigilancia gratuito en la fabricación de autopartes. CIATEQ.
- Lucero, G. (23 de Abril de 2019). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate:  
<https://www.researchgate.net/publication/328094263>
- Mendez Jurjo, o. (18 de Octubre de 2018). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate:  
<https://www.researchgate.net/publication/320178931>
- Mousavi, S. K. (12 de 09 de 2021). Science. Obtenido de Elsevierscience:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214212621001605?via%3Dihub>
- Oliver, A. Q. (28 de mayo de 2014). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate:  
<https://www.researchgate.net/publication/28280753>
- Pannunzio, A. (2 de julio de 2014). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate:  
<https://www.researchgate.net/publication/262554232>
- Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la Investigación. México, D. F.: Mc Graw Hill.
- Sertecriego. (11 de 03 de 2020). Sertecriego. Obtenido de <https://sertecriego.com/sistema-de-riego-por-aspersion-una-proteccion-ante-las-bajas-temperaturas/>
- Tolomio, M. (1 de 12 de 2020). MDPI. Obtenido de remote sensing:  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/23/3945>

## Implementación de las 5s para la optimización en la gestión del almacén en un centro de acopio de miel

Hernández Crisóstomo Cintia del Carmen<sup>1</sup>  
cintia.hc@champonon.tecnm.mx

Moo León María José<sup>2</sup>  
maría.ml@champonon.tecnm.mx

Villagrana López Raciél Iván<sup>3</sup>  
raciel.vl@champonon.tecnm.mx

Uc Sansores, Marcelo<sup>4</sup>.  
marcelo.us@champonon.tecnm.mx

Contacto:  
cintia.hc@champonon.tecnm.mx  
Teléfono con lada 019821314450

Especificar Área(s) temática de la Investigación del artículo  
**Optimización de procesos**

Autor 1. Ingeniería industrial, Maestría en Pedagogía y Práctica docente, Profesor de tiempo Completo asociado “C” en el área de Ingeniería en Logística, adscrita al Tecnológico Nacional de México, Campus Champotón,

Autor 2. Ingeniería Industrial, Maestría en Ingeniería en Educación, Profesor de Asignatura “A” de la academia de Ingeniería en Logística, adscrita al Tecnológico Nacional de México, Campus Champotón,

Autor 3. Ingeniería en Sistemas Computacionales, Maestría en Administración de Tecnologías de la información, Profesor de Asignatura “A” de la academia de Ingeniería en Logística, adscrito al Tecnológico Nacional de México, Campus Champotón,

Autor 4. Ingeniería industrial, Maestría en Administración de Negocios, Profesor de Asignatura “A” de la academia de Ingeniería en Logística, adscrito al Tecnológico Nacional de México, Campus Champotón.

**RESUMEN:** Los centros de acopio de miel son de gran importancia para concentrar la miel de un grupo o una región situada estratégicamente. En el estado de Campeche, la apicultura se encuentra situada en segundo lugar como productor nacional; en el estado hay más de 6000 apicultores, produciendo un aproximado de 7000 toneladas de miel al año, es por ello que el almacén de un centro de acopio de miel debe tener una gestión adecuada para el buen manejo de los materiales e

inventarios de la propia miel. Para este trabajo de investigación, se realizó el diagnóstico mediante el análisis FODA, el diagrama de Ishikawa y una lista de verificación obteniéndose las problemáticas que tiene el almacén, como falta de higiene, desorganización, indisciplina, no hay estandarización de los procesos, por lo que se implementó la metodología 5S, para mejorar la gestión de almacenamiento del centro apícola. Se realizaron dos evaluaciones, una pre antes

de aplicar la metodología y una post evaluación del estudio, y al final se hizo una comparación, teniendo como resultados un aumento considerable del 28% (pre) al 89% (post) en el mejoramiento de la gestión del almacén, se logró dar un seguimiento por medio de hojas de verificación, se establecieron normas y reglas para dar un seguimiento a las actividades.

**PALABRAS CLAVE:** *almacén, 5s's, ABC, layout, mejora continua*

**ABSTRACT:** Honey collection centers are of great importance to concentrate honey from a strategically located group or region. In the state of Campeche, beekeeping is ranked second as a national producer; In the state there are more than 6,000 beekeepers, producing approximately 7,000 tons of honey per year, which is why the warehouse of a honey collection center must have adequate management for the proper management of the materials and inventories of the honey collection center. Honey. For this research work, the diagnosis was carried out using the SWOT analysis, the Ishikawa diagram and a checklist, obtaining the problems that the warehouse has, such as lack of hygiene, disorganization, indiscipline, there is no standardization of the processes, therefore that the 5S methodology was implemented to improve the storage management of the beekeeping center. Two evaluations were carried out, one before applying the methodology and one after evaluation of the study, and at the end a

comparison was made, resulting in a considerable increase from 28% (pre) to 89% (post) in the improvement of the warehouse management, monitoring was achieved through verification sheets, norms and rules were established to monitor activities.

**KEYWORDS:** *warehouse, 5s's, ABC, layout, continuous improvement*

## INTRODUCCIÓN

La mejora continua en las empresas tiene como finalidad alcanzar sus objetivos organizacionales [1], y para ello es necesario evaluar cada una de las áreas de la cadena de suministro, aunque, en algunos casos, el almacén no tiene la importancia adecuada, dado que ahí no se desarrollan procesos de producción relevantes que le agreguen valor al producto [2]. Sin embargo, el almacén está tomando un rol muy importante hoy en día, en la industria moderna ya que ahí es donde se encuentran las mercancías a usar para el desarrollo de los productos y si no hay una buena gestión de almacenamiento, la productividad no será óptima [3]. La organización de estos almacenes deben ser prioridad para cualquier empresa. Una de las herramientas para llevar un buen control del almacén es la implementación de la metodología 5S, que es una técnica japonesa, que lejos de tratarse de una campaña de limpieza es una estrategia orientada hacia la calidad total, las 5S's se basan en 5 principios: Seiri (seleccionar), Seiton (organizar), Seiso (limpieza), Seiketsu (Estandarizar o mantener) y Shitsuke (Disciplina) surgiendo en los años 60 [3].

Según [3] menciona que la metodología 5S's no requiere de tecnologías especializadas para

implementarla, solamente la disciplina y el autocontrol de los involucrados.

La gestión de almacenes es la clave dentro de un proceso que tiene como objetivo satisfacer los requerimientos de los clientes [4].

Por otro lado, la apicultura en México es un gran aportador de divisas, generador de empleos e ingresos para las comunidades rurales [5], es por ello que los centros de acopio fungen como centros de almacenamiento, ya que ahí es donde destinan su producción principalmente los productores de miel [5].

La apicultura en el Estado de Campeche, es una de las actividades de mayor importancia del sector primario, y de ella emanan beneficios al sector rural, alrededor de 10,702 familias [6] Específicamente para el centro de acopio de este trabajo es una empresa social que cuentan con 31 centros de acopio que agrupan a la mayoría de las organizaciones de productores de las comunidades rurales de la región y operan con laboratorio de control de calidad [7]

El presente trabajo implementa la metodología 5S's en el almacén de un centro de acopio y distribución de miel en el Estado de Campeche, el cuál entre otras situaciones, su problemática es el mal acomodo y organización de este, el cual no se encuentra con la logística adecuada para la organización de los artículos almacenados, por lo que es una de las prioridades a realizar.

Para la realización del diagnóstico se hace uso del análisis FODA que es una herramienta estratégica que permite hacer un análisis interno de la empresa y así poder mostrar sus debilidades, fortalezas, áreas de oportunidades y sus amenazas [8]

El diagrama de Ishikawa, de igual manera, es una herramienta que permite detectar las causas que atañen a un problema, de manera más clara y gráficamente [9]

Dentro de este almacén se encuentran diferentes tipos de productos que van desde artículos como trajes de apicultor hasta medicamentos y cera estampada, lo que es de suma importancia realizar una organización para evitar posibles contaminaciones en el ambiente y prevenir posibles accidentes dentro del mismo, protegiendo de manera íntegra la salud de los trabajadores, de las propias instalaciones y productos que ahí se resguardan.

En el centro de acopio de miel dentro de sus problemáticas se observaron: falta de un sistema de gestión de almacenamiento, falta de señalizaciones, retraso en las entregas, inexistencias en la estandarización de sus procesos, falta de higiene dentro de las instalaciones, infestación de plagas, entre otras más, es por ello, que el objetivo de este trabajo es implementar la metodología 5S's en un centro de acopio de miel para la optimización en la gestión de su almacén.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La empresa se encuentra ubicada en el estado de Campeche, municipio Champotón, cuenta actualmente con 43 centros de acopio distribuidos en el estado, de los cuales se encargan de recibir de cada uno de los productores el producto que explotan. Al acumular un viaje entre 5 y 10 tambores los cuales llegan a la planta. En sus exportaciones, la empresa maneja una cartera pequeña de 4 clientes; de los cuales 2 son los que acaparan la mayor cantidad de la miel exportada.

Hoy en día el estado de campeche es el principal productor de miel de abeja en el país, con un volumen aproximado de 7,000 toneladas de miel [7].

La población a estudiar es el almacén, dentro de este almacén se encuentran diferentes tipos de productos que van desde artículos como trajes de apicultor hasta medicamentos y cera estampada, lo que es de suma importancia realizar una organización para evitar posibles

contaminaciones en el ambiente y prevenir posibles accidentes dentro del mismo. Protegiendo de manera íntegra la salud de los trabajadores, de las propias instalaciones y productos que ahí se resguardan.

Para llevar a cabo la implementación de la metodología 5S, se aplicó el método de análisis documental, no experimental y el tipo de estudio fue descriptivo ya que solo se midieron las variables sin manipularlas, con un enfoque cuantitativo debido a que los datos que se manejan utilizan herramientas estadísticas cuantitativas [10]

Para realizar el diagnóstico se aplicó el análisis FODA y el diagrama de Ishikawa, posteriormente se implementó la metodología 5s, evaluada mediante auditorias con base a un check list como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Check Lis de evaluación 5s's  
Fuente: elaboración propia

CHECK LIST DE EVALUACIÓN 5S's		Calificación
<b>Seleccionar</b>		
1	El mobiliario se encuentra en condiciones de uso.	
2	Circulación en pasillo.	
3	Diferencia de material en sistema contra físico.	
4	Las mercancías están en su lugar asignado.	
<b>Ordenar</b>		
5	Los pasillos están debidamente identificados	
6	Los botes de basura están en el lugar designado para estos.	
7	Las mercancías están identificadas.	
8	Todas las identificaciones de los productos están actualizadas.	
<b>Limpiar</b>		
9	Los pallets se encuentran limpios.	
10	El piso está libre de polvo, basura, componentes y manchas.	
11	Las paredes y muros están limpios.	
12	Los planes de limpieza se realizan en la fecha establecida.	
<b>Estandarizar</b>		
13	Todos los pallets cumplen con el requerimiento de la operación.	
14	El personal porta el equipo de protección adecuado para realizar sus labores.	
15	Todos los instructivos cumplen con el estándar.	
16	La capacitación está estandarizada para el personal del área.	

Así mismo, se elaboró la guía de evaluación para evaluar el check list de la figura, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Guía de calificación del Check list  
Fuente: Elaboración propia

Guía de Calificación	
0	Muy malo
1	Malo
2	Promedio
3	Bueno
4	Excelente

Posteriormente se graficaron los datos en un grafico de araña, para comparar lo observado con lo esperado.

Después de haber realizado el diagnóstico y análisis de la situación, se procedió a implementar la metodología 5S en las diferentes áreas del almacén. Para la aplicación de la primera "S" seleccionar se aplicó un nuevo layout del almacén, para la segunda "S" organizar se implementó el modelo de inventarios ABC, la tercer "S" referente a la limpieza se manejo por responsabilidades asignadas y horarios según un formato de roles, la cuarta "S" sobre mantener, se estandarizaron los procesos mediante normas y estándares establecidos para conservar el lugar de trabajo limpio y en excelentes condiciones y la quinta "S" disciplina, de acuerdo a las normas y estándares se tiene que llevar un control mediante hojas de verificación y se vaya formado el hábito de los trabajadores, así como reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas ya establecidas.

Finalmente se volvió a hacer uso del gráfico de araña para comparar el antes y el después de la aplicación, obteniendo así una mejoría en el almacén.

El análisis fue realizado entre los meses de agosto a diciembre del 2021.

## RESULTADOS

Los resultados del diagnóstico de acuerdo al análisis FODA, se enfocaron en las debilidades del almacén, principalmente en problemas en el proceso logístico, falta de asignación de tareas, no tiene distribución en el almacén de ventas, así como la falta de control por parte de

plagas que amenazan el producto del almacén, como se muestra en la figura 1.

Por otro lado, el diagrama de Ishikawa mostró que se tenían deficiencias en las áreas dentro de su gestión logística, principalmente en su departamento de logística y su almacén secundario. Como puede mostrarse en la figura 2. La falta de higiene, señalizaciones, sobrecargas de espacio, falta de control y vigilancia en los espacios del almacén, infestación de plagas, etc. fue un detonante para la implementación de la metodología 5S.

Para que se llevara a cabo la metodología de 5S, se realizó un formato de evaluación con la finalidad de comparar el antes y el después de la implementación en el almacén y así poder realizar las mejoras correspondientes. Dicho formato consta de cuatro apartados, que corresponden a las primeras 4S, los cuales contienen preguntas de acuerdo con su importancia (véase tabla 1). La quinta S dinamiza las auditorías de seguimiento y consolida el hábito de la mejora continua en el área. Al aplicar la primera evaluación los resultados se muestran en la tabla 3.



Figura 1. Análisis FODA del centro de acopio de miel  
Fuente: Elaboración propia

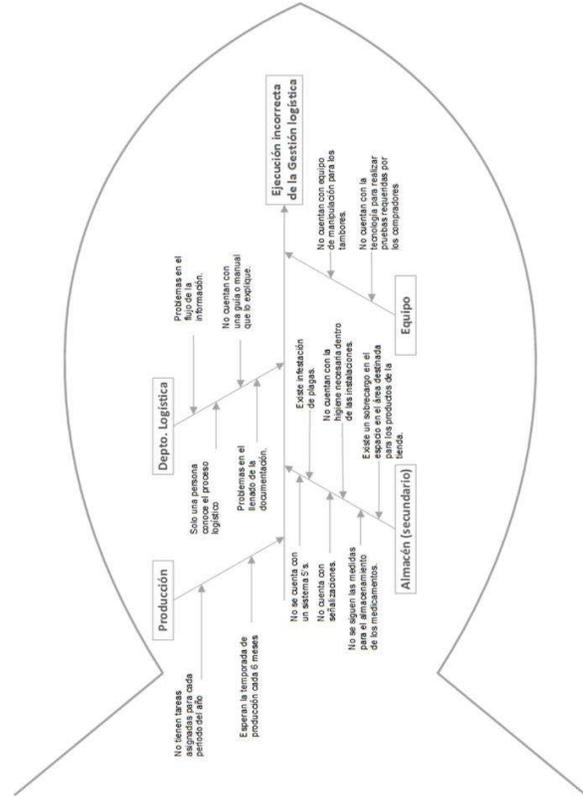


Figura 2. Diagrama de Ishikawa del centro de acopio de miel

Fuente: Elaboración propia

Para que se llevara a cabo la metodología de 5S, se realizó un formato de evaluación con la finalidad de comparar el antes y el después de la implementación en el almacén y así poder realizar las mejoras correspondientes. Dicho formato consta de cuatro apartados, que corresponden a las primeras 4S, los cuales contienen preguntas de acuerdo con su importancia (véase tabla 1). La quinta S dinamiza las auditorías de seguimiento y consolida el hábito de la mejora continua en el área. Al aplicar la primera evaluación los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la primera evaluación

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la 1ra Evaluación			
Descripción	Puntos	Máximo	Porcentajes
Selección	3	16	19%
Orden	3	16	19%
Limpieza	6	16	38%
Estandarización	6	16	38%
General	18	64	28%

Estos datos al graficarse en un gráfico de araña, mostraron muy bajo valor respecto a lo que debería ser, por ejemplo, en el tema de selección y orden quedaron en 3 puntos y en limpieza y estandarización en 6 puntos, donde deben tener como máximo 16 puntos, los porcentajes son muy bajos, esto indicó que hacía falta disciplina y se tenía que trabajar de manera inmediata para poder resolver los problemas en el almacén, como se puede apreciar en la figura 3.

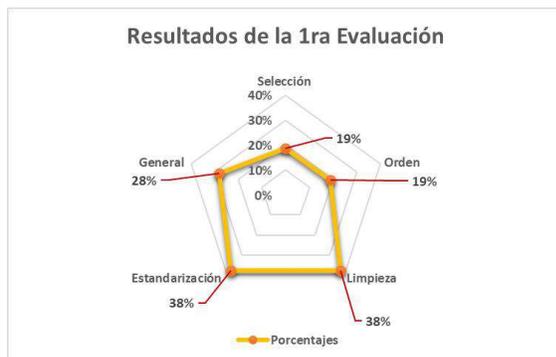


Figura 3. Resultados de la primera evaluación Fuente: Elaboración propia.

### Seiri – Seleccionar.

Se realizó un conteo de los materiales y productos almacenados, donde se encontró material obsoleto, rezagado, cajas de cartón vacías que ocupaban espacio, y artículos que no estaban identificados. Con esto se logró cuadrar los artículos pertenecientes a la tienda y aquellos que no, gracias a los inventarios realizados. Posteriormente, tomando en cuenta la frecuencia de demanda, se clasificaron los materiales.

Una vez seleccionados los artículos en el almacén, se presenta un espacio físico más

amplio, como se muestra en las figuras 4 y 5 del antes y el después.



Figura 4. Antes de aplicar Seiri (Seleccionar) Fuente: Elaboración propia



Figura 5. Después de aplicar Seiri (Seleccionar) Fuente: Elaboración propia

En complemento con el Layout se realizaron las delimitaciones de los espacios en los pasillos. Para mejorar el ambiente de trabajo se realizó una limpieza de los pisos y se les aplicó pintura de aceite en el área de almacén, como se muestra en la figura 6. Para la elección del color de la franja se decidió por el color amarillo mango, tomando como referencia la guía “Guía para Marcaje de Piso Reglamentos, Normas de Colores, Consejos, Soluciones y más”, en su capítulo 4 “Guía de estándares de color” [11]



Figura 6. Delimitando los espacios con señalizaciones Fuente: Elaboración propia

### Seiton – Organizar.

Luego de haber aplicado la primera S y el Layout en el establecimiento, se presentó un espacio más amplio y se colocaron los artículos en su ubicación. Los artículos de mayor demanda se acomodaron de tal manera que, al momento de ser solicitados, sea más rápida la entrega del material. Esta clasificación de los materiales ayudó a realizar un inventario ABC, quedando clasificados según la figura 6.

Inventario ABC (Tienda)		
A:	B:	C:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ahumadores</li> <li>Cera estampada</li> <li>Velos</li> <li>Guantes</li> <li>Cajas de apicultura</li> <li>Ácido Sálíco</li> <li>Rubiotic</li> <li>Promotoor L</li> <li>Alimento para abejas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Garrafas</li> <li>Frascos</li> <li>Extractores</li> <li>Tambores</li> <li>Haappyvarr</li> <li>Atrayente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bancos</li> <li>Charolas de miel</li> <li>Apistan</li> <li>Aminovita</li> <li>Timol</li> </ul>

Figura 6. Inventario ABC  
Fuente: Elaboración propia

El inventario ABC, estableciendo como A (productos de mayor rotación), B (productos de media o mediana rotación) y C (productos de poca o nula rotación), se continuó con la elaboración de los planos de la distribución de los materiales y equipos almacenados, que ayudó a darle un espacio determinado a cada uno de estos. Como se muestra en la figura 7

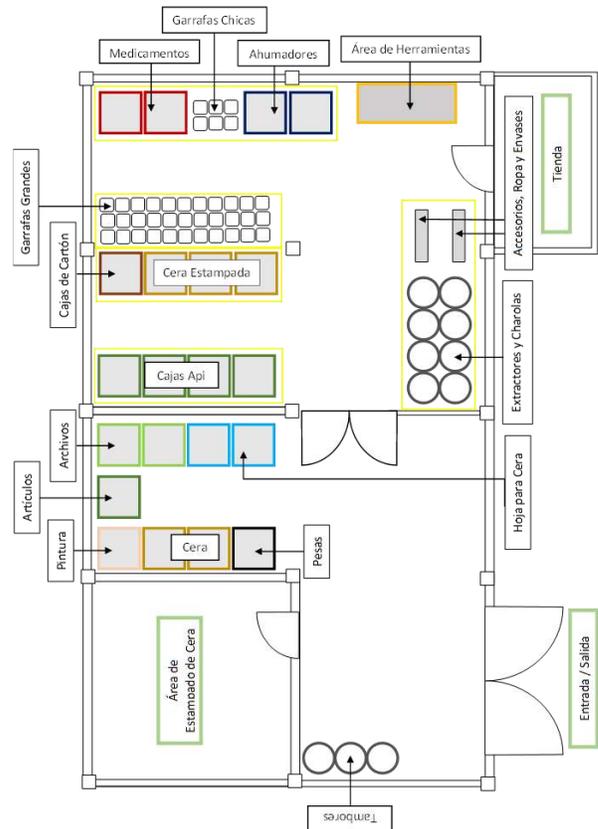


Figura 7. Planos de la distribución en el almacén secundario  
Fuente: Elaboración propia

Además, se realizó el acomodo de las herramientas; las cuales pertenecen a los trabajadores, y un inventariado de las herramientas con las que se cuentan. Esto con el fin de mantener un control de estas para evitar pérdidas.

#### Seiso – Limpieza.

Después de la clasificación y ordenamiento del almacén, se comenzó a limpiar cada una de las instalaciones, suprimiendo la suciedad con líquidos especiales para la eliminación de grasa y polvo. Una vez ordenado el lugar, se creó un horario asignado para la limpieza, el cual consistió en mantener limpio todos los días su área de trabajo.

También se implementó una rutina de verificación de limpieza para mantener el proceso de clasificación, orden y limpieza.

Las responsabilidades asignadas fueron:

Revisar que no sobresalga material de los pallets, que se mantuvieran en orden y en su lugar.

Revisar que el responsable de la limpieza recolectara la basura depositada en los botes designados para cada material.

Visualizar que en el piso no haya líquidos derramados, y si este fuera el caso designar a personal para limpiarlo al término del turno.

Motivar al personal a seguir las reglas establecidas para conservar como una cultura de trabajo la metodología 5S.

Se determinó que al entregar el turno el almacén debe estar limpio y ordenado. El que entra en el primer turno realizará la limpieza del almacén, para mantener un ambiente limpio y así evitar daños permanentes a instalaciones.

Seiketsu - Estandarizar o mantener.

Esta S tiene como objetivo mantener lo que ya se logró en las tres S anteriores. para que se pueda lograr una mejora continua en el área de almacén.

Se reglamentaron los logros alcanzados con las tres primeras S, a través de una cultura de mejora continua y disminución de la resistencia al cambio.

Se realizó una comparación del antes y el después del almacén de refacciones, con lo que se obtuvo una conclusión con respecto a lo observado para posteriormente darle una solución.

Se asignaron responsabilidades para mantener las condiciones de las tres primeras S, es por ello por lo que cada una de las personas que conforman el área de almacén deben conocer exactamente cuáles son las responsabilidades sobre lo que se tiene que hacer y principalmente cuándo, dónde y cómo hacerlo.

Se debe mantener el área de trabajo limpia y despejada.

Para el cumplimiento de esta S lo más importante es que exista compromiso por parte del de los/las almacenistas y del encargado de la tienda para que se pueda continuar con la implementación de la metodología 5S a través del hábito de utilizar lo establecido, y mostrar un cambio aceptable en el logro de los objetivos, así como tener una cultura de trabajo con actitud positiva y evitar la resistencia al cambio. De esta manera, se busca que el esfuerzo realizado en la aplicación de las primeras 4S se mantenga y se aplique en el almacén.

Shitsuke - Disciplina

La última S se dispone a evitar que los procedimientos ya establecidos se ignoren y a la larga se olviden, ya que respetando cada uno de los parámetros establecidos para cada S, se obtendrán los beneficios encontrados de manera momentánea con la implementación de la metodología 5S.

De esta manera, para una mejora continua en la cultura de los trabajadores, se deben considerar los siguientes puntos:

El respeto de las normas y estándares establecidos para conservar el lugar de trabajo limpio y en excelentes condiciones.

Elaborar un control personal y el respeto por las normas establecidas que regulan el funcionamiento del establecimiento.

Promover el hábito del autocontrol, así como reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas ya establecidas.

Se debe comprender la importancia del respeto por los demás y por las normas establecidas para el bien del almacén.

Finalmente se aplicó la segunda evaluación y se puede notar, según la tabla 4 y la figura 8 que al haber implementado la metodología 5S junto con la integración del Layout e inventarios

por ABC, se logró un 89% de efectividad, mejorando el almacén secundario.

Tabla 4. Resultados de la segunda evaluación (final)  
Fuente: Elaboración propia

Resultados de la 2da Evaluación			
Descripción	Puntos	Máximo	Porcentajes
Selección	16	16	100%
Orden	14	16	88%
Limpieza	13	16	81%
Estandarización	14	16	88%
General	57	64	89%



Figura 8. Gráfico de araña con los resultados de la segunda evaluación.  
Fuente: Elaboración propia

### CONCLUSIONES

En conclusión, se realizó un comparativo entre los resultados de ambas evaluaciones, observándose en la figura 9, qué si hubo un aumento significativo, logrando así el objetivo del trabajo que fue el de optimizar la gestión del almacén del centro de acopio de miel.

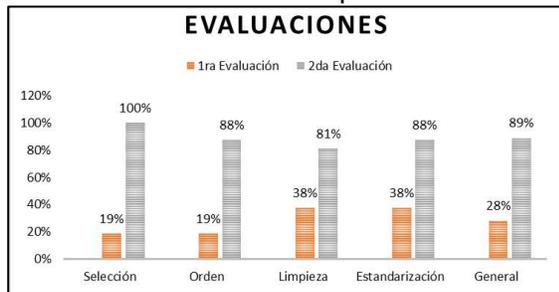


Figura 9. Comparación de ambos resultados de las evaluaciones  
Fuente: Elaboración propia

Al comparar la primera y segunda evaluación se refleja una gran diferencia (Gráfico 3), teniendo en cuenta que el almacén no cuenta con un sistema de gestión implementado, los logros alcanzados reflejan la eficacia de las 5S.

Los resultados obtenidos en el ambiente físico fueron notables, desde el más simple detalle. La entrega rápida de los materiales al área de mantenimiento, producción y ventas ahora es más ágil y rápida, ya que, gracias a la liberación del espacio y así como su reubicación, facilitaron la movilización de la mercancía. Eran comunes las demoras en la búsqueda de los diferentes artículos por motivos de que no se encontraban en un lugar definido dentro del almacén.

En los resultados obtenidos mediante las evaluaciones del Check List de las 5S's se pudo observar que el personal ignoraba el mantenimiento de las instalaciones, por lo que tenían el almacén en completo desorden, al aplicar en conjunto las herramientas se abrió paso a un nuevo sistema de gestión, el cual permite mantener en buen estado las instalaciones y sobre todo evitar abandonar los buenos hábitos de limpieza y orden.

Las capacitaciones del personal, también fueron de ayuda para mantener el control y evitar la pérdida de mercancía y la incapacidad a ellos por algún accidente laboral que se hubiese presentado con la mercancía almacenada en esas condiciones.

Esta metodología de las 5S's es una herramienta mundial que se aplica en todos los ámbitos con éxito, tal es el caso de la empresa Bimbo que en año 1945 al incluir esta herramienta evito compra de materiales innecesarios, además hubo un aumento de la productividad tanto de las máquinas como de la persona [12], también en Tampico, Tamaulipas el grupo GTglobal en las agencias Toyota y Mitsubishi, tienen como norma el uso de esta herramienta de manera permanente [12].

### BIBLIOGRAFÍA

[1] K. Alvarado, V. Pumisacho. *Prácticas de mejora continua, con enfoque Kaizen, en*

*empresas del Distrito Metropolitano de Quito: Un estudio exploratorio. Intangible Capital, 13(2), 479-497. 2017.*

[2] J. Huguet, Joanna; Z. Pineda; E. Gómez, *Mejora del sistema de gestión del almacén de suministros de una empresa productora de gases de uso medicinal e industrial Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. V, núm. 17, pp. 89-108 Universidad de Carabobo Carabobo, Venezuela. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215049679007>*

[3] M.A. Jara. *El método de las 5S: su aplicación. RES NON VERBA, ISSN: 1390-6968, Vol.7, No.1, Abril de 2017.*

[4] A.A. Correa, R.A. Gómez, J.A.Cano. *Gestión de almacén y tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Estudios gerenciales Vol. 26 No. 117. Diciembre 2010.*

[5] M.A. Magaña, Y.B. Moguel, J.R. Sanginés, C.E. Leyva. *Estructura e importancia de la cadena productiva y comercial de la miel en México. La miel en México Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 2012.*

[6] I.M. Canepa, P. Pérez. *Análisis de la competitividad micro y meso en la apicultura en el Estado de Campeche, México. Perspectivas Rurales. Nueva época, Año 15, N° 29. pp. 201-219. Enero – junio 2017.*

[7] SADER. *Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. Revista Claridades Agropecuarias. Núm. 199, marzo, 2010.*

[8] M. Riquelme. *FODA: Matriz o Análisis FODA –Una herramienta esencial para el*

*estudio de la empresa. 2016. Recuperado de <https://www.analisisfoda.com/>*

[9] I. Kaoru. "Diagrama de Ishikawa." Obtenido de [http://www.academia.edu/download/45800691/Diagrama\\_de\\_Ishikawa.Pdf](http://www.academia.edu/download/45800691/Diagrama_de_Ishikawa.Pdf). 2013.

[10] R. Hernández, C. Fernández, P. Baptista. *Metodología de la Investigación. Mc. Graw Hill. Cuarta Edición. 2006*

[11] Guía para marcaje de piso. Reglamentos, normas de colores, consejos, soluciones y más. BRADY. 2016. Recuperado de [https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/common/floor\\_marking\\_guide\\_latin\\_america.pdf](https://d37iyw84027v1q.cloudfront.net/common/floor_marking_guide_latin_america.pdf)

[12] F. Arévalo, P. Castillo, J. A. Raymundo, A. León y C. Martínez. *Las 5's como herramienta para la mejora continua en las empresas. Revista iberoamericana de Ciencias ISSN 2334-2501. Diciembre 2018.*

## Construcción y evaluación higrotérmica de prototipos de techo verde para la zona de Progreso Yucatán

Alvarado Pacheco Jordy Jose<sup>1</sup>  
al074299@uacam.mx

May Tzuc Oscar<sup>2</sup>  
oscajmay@uacam.mx

Canul Turriza Román Alejandro<sup>3</sup>  
roacanul@uacam.mx

Bacelis Jiménez Ángel Adrián<sup>4</sup>  
aabaceli@uacam.mx

Rubio Cámara Erika Haydeé<sup>5</sup>  
erika.rc@progreso.tecnm.mx

Contacto:  
al074299@uacam.mx  
+52 9994847640

Especificar Área(s) temática de la Investigación del artículo  
**Construcciones sostenibles**

Autor 1, Ingeniería, Estudiante de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche.

Autor 2, Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche.

Autor 3, Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Campeche.

Autor 4, Doctorado, Centro de Investigaciones en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche.

Autor 5, Maestría, Academia de Energías Renovables, Tecnológico Nacional de México Campus Progreso.

**RESUMEN:** En esta investigación se realizó el diseño y simulación de una casa con un cuarto en el software SolidWorks. Asimismo, se construyeron 2 prototipos de casas a escala 1:10 y se instrumentó con sensores de humedad y temperatura (Dht11), para hacer la comparación de las variables de temperatura y humedad con la implementación de un techo verde extensivo, techo plano de concreto y un techo verde modular, tomando los datos cada 5 minutos durante el mes de mayo. Los tres modelos utilizados se instalaron en la parte posterior del taller de energías

renovables del TecNM Campus Progreso para comparar la temperatura y humedad de los modelos en condiciones ambientales. El prototipo de techo verde extensivo y modular alcanzaron una reducción del 17.85 y 10.90 % de temperatura con respecto al prototipo de techo plano de concreto y una reducción del 8.64 % con respecto a la temperatura media exterior del mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán.  
**PALABRAS CLAVE:** Mediciones higrotérmicas; Confort térmico; Infraestructura verde.

**ABSTRACT:** *In this research, the design and simulation of a house with one room was carried out in SolidWorks software. Likewise, 2 prototypes of houses were built at a 1:10 scale and were instrumented with humidity and temperature sensors (Dht11), to compare the temperature and humidity variables with the implementation of an extensive green roof, a flat concrete roof, and a modular green roof, taking data every 5 minutes during the month of May. The three models used were installed in the back of the renewable energy workshop of the TecNM Campus Progreso to compare the temperature and humidity of the models in environmental conditions. The extensive and modular green roof prototype achieved a temperature reduction of 17.85 and 10.90% with respect to the flat concrete roof prototype and a reduction of 8.64% with respect to the average outdoor temperature for the month of May in the municipality of Progreso Yucatán.*

**KEYWORDS:** *Hygrothermal measurements; Thermal comfort; Green infrastructure.*

## INTRODUCCIÓN

La nueva urbanización es principalmente un problema en los países en desarrollo, mientras que entre el 70 y 90 % de la población del mundo desarrollado vive en asentamientos urbanos. Por lo tanto, la mitigación y adaptación al cambio climático es un tema igualmente importante tanto en el mundo desarrollado como en el mundo en desarrollo [1]. De ahí que nace la necesidad de reestablecer un balance ecosistémico en zonas interrumpidas por el crecimiento poblacional y su expansión inmobiliaria ha favorecido la adopción de techos verdes como una alternativa sostenible, que contribuye a la eficiencia energética en edificaciones. En los últimos años la aplicación de techos verdes ha

incrementado gracias a los beneficios económicos y ambientales que brindan [2]. El entendimiento del efecto del cambio climático en las ciudades requiere un conocimiento, no sólo de los escenarios climáticos y las condiciones meteorológicas que van marcando el día a día en el medio urbano en el futuro, sino también la comprensión y ponderación de cada uno de los agentes que lo conforman como: la arquitectura, los materiales, las fuentes de calor, los factores antrópicos y la vegetación. De igual forma en la actualidad el fenómeno “Isla de calor”, que es producido como resultado del aumento del flujo de calor sensible desde la superficie de la tierra a la atmósfera en las ciudades y su entorno próximo, especialmente durante el periodo nocturno. Este fenómeno se ve continuamente incrementado por la sustitución masiva de áreas de vegetación por edificios y superficies impermeables [3], [4], que absorben el calor durante el día y lo devuelven en forma de radiación infrarroja durante la noche sin permitir el enfriamiento nocturno que regula térmicamente el ecosistema urbano [5]. También este efecto impacta severamente no solo el confort térmico de los habitantes de las ciudades, sino además en la demanda de electricidad para refrigeración en los edificios que se ve incrementada [6]. Los edificios son la causa del 40 % del consumo energético en los países desarrollados y, en consecuencia, del 40 % de las emisiones de carbono [7], estas cifras se ven aumentadas a causa de la contribución cada vez mayor del sector inmobiliario que tiene una mayor demanda de refrigeración para mantener el confort térmico en este escenario de calentamiento. Aunado a esto en el estado de Yucatán predomina el clima BS (seco o árido) y el AW (cálido subhúmedo) de la clasificación de Köppen [8], por lo que la mayor parte del año se cuenta en condiciones de alta temperatura y humedad relativa. Por su latitud, y debido a que las

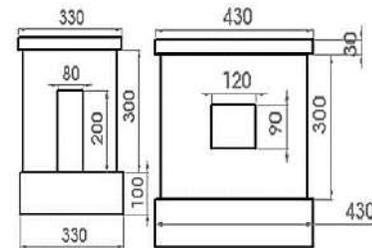
construcciones usualmente cuentan con techos casi planos, la ganancia de calor en los edificios se da a través del techo y los muros sur y poniente, lo cual lleva a invertir importantes cantidades de energía para el confort térmico de los usuarios[9]. Los techos verdes, azoteas naturadas, cubiertas ajardinadas o ecológicas son sistemas que han sido utilizados a lo largo de muchos años en numerosas regiones del planeta tanto para fines ornamentales, como de ahorro de energía, amortiguamiento de la escorrentía de agua, cumplimiento con la normatividad en cuanto al porcentaje de áreas verdes [10], contribuir a la disminución de los gases de efecto invernadero, así como la creación de espacios para especies de insectos y aves pequeñas. De ahí la importancia de la implementación de los techos verdes ya que traen consigo muchos beneficios, principalmente para las zonas urbanas [11]. En la actualidad existe muchas investigaciones sobre la implantación de esta tecnología en lugares en que las condiciones ambientales son distintas a las que prevalecen en la Península de Yucatán. Aunque existen algunos trabajos realizados en climas similares al de esta región, es notable la necesidad de realizar estudios más profundos y adquirir experiencias en cuanto a la aplicación de los techos verdes como un medio para reducir el flujo del calor causado por la radiación solar, hacia el interior de las edificaciones en el Estado de Yucatán [12]. Por lo tanto, este trabajo de investigación consiste en la implementación de 2 prototipos de techos verdes (extensivo y móvil), con la finalidad de hacer una comparación de pérdida de temperatura en los dos modelos y compararlo con un modelo de techo común (concreto), estos se pondrán a la intemperie, para registrar los datos de temperatura y humedad que nos proporcione una comparación de los 2 modelos elegidos, para posteriormente mostrar los beneficios que conlleva el implementar techos verdes en el

estado de Yucatán.

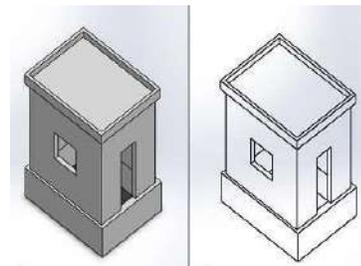
## MATERIAL Y MÉTODOS

### Fase de diseño y análisis

Se realizó el proyecto en el laboratorio de cómputo y taller de energías renovables de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Campeche, en donde primero se hizo el diseño del prototipo a escala 1:10 tomando como referencia un cuarto de dimensiones de 3 x 4 x 4m, en el software SolidWorks para poder implementar el techo verde y los sensores para su respectivo análisis [13]. En la figura 1 se observa las vistas del prototipo con sus respectivas medidas, y el prototipo propuesto en 3D Y 2D.



(a)

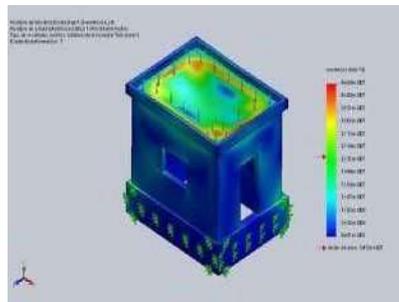


(b)

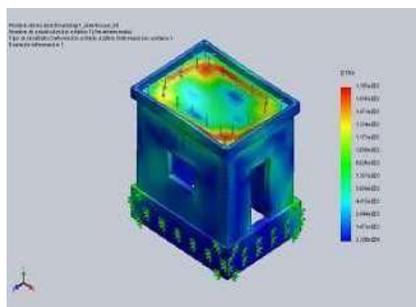
**Figura 1. Diseño realizado en el software SolidWorks: (a) vista lateral derecha y frontal en milímetros y (b) diseño del prototipo en 3D.**

Se efectuó el análisis de resistencia del techo,

ya que Kóhler y Clements en su trabajo Green Roofs, Ecological Functions (2003) mencionan que, para techos verdes de tipo extensivo la fuerza que debe de soportar la estructura del techo debe de ser  $40 \text{ kg/m}^2$  [14] debido a todas las subcapas que lleva este tipo de techo. Para el análisis se utilizó el programa SolidWorks, se empleó una fuerza de  $(40 \text{ kg/m}^2)$ , para techos extensivos, en la parte del techo se marcan los siguientes colores rojos, amarillo verde, azul claro y azul fuerte, esto se refiere que en las partes de color rojo sería la parte afectada o en donde podría haber una deformación, por lo tanto se realizó el análisis de tensiones y deformación para garantizar que el diseño del prototipo sea capaz de resistir la fuerza que ejerce el implementar un techo verde, en la figura 2 se observa los análisis efectuados.



(a)



(b)

Figura 2. Análisis realizados en SolidWorks: (a) análisis estático de tensiones y (b) análisis estático de deformación unitario.

**Fase de construcción e instrumentación** Para la construcción de

los dos prototipos, primero se diseñó e imprimió el molde de los bloques de  $2 \times 4 \text{ cm}$  y  $3 \times 6 \text{ cm}$ , que fueron hechos con cemento y polvo, para poder realizar las paredes de la casa. De igual manera se construyó la base para el cimiento de la casa de cimbraplay  $33 \times 44 \text{ cm}$ , como se visualiza en la figura 3. Se instaló mallas de gallinero adentro de la base, después se realizó la mezcla de cemento y polvo para rellenar la base de triplay para el cimiento, dejando secar por un día, después de tener el cimiento ya listo, se hicieron los cuatro castillos para refuerzo del techo de la casa poniendo cuatro varillas de hierro y alambre, para hacer un castillo armex, que luego se coloca una base de madera a los lados del castillo para después poder colarlo repitiendo este proceso 3 veces más, como se observa en la figura 4.



Figura 3. Molde de bloques de cemento y polvo, para construcción de las paredes del prototipo y base para el cimiento.



Figura 4. Construcción de los cuatro castillos para soporte del techo del prototipo.

Teniendo listos los cuatro castillos, se procedió a realizar las paredes del prototipo de la casa, pegando los bloques de forma horizontal, con cemento, poniendo uno encima de otro hasta tener la pared, de igual forma dejamos secar por cuatro horas, en las paredes laterales dejamos el espacio donde irán las ventanas poniendo un marco de madera para que no se ocupe el espacio, en la vista frontal se le dejó igual el espacio con un marco de madera para paredes del prototipo de la casa y el cimiento, se continuó con la construcción del techo, donde primero se realizó el armado del marco de triplay para poder realizar el colado del techo posterior a eso se procedió a colocar alambres con la finalidad que el techo tenga una mayor resistencia. Por último, se realizó la preparación de la mezcla de polvo, grava y cemento gris para colocarlo sobre la estructura que formara el techo del prototipo. Igualmente se pegaron bloques alrededor del techo para dejar un espacio para colocar las capas que lleva los modelos de techos verdes. En la Figura 5 se observa el proceso antes descrito.



**Figura 5. Etapas de la construcción del techo del prototipo.**

Al concluir la construcción del techo se pintó de color blanco, la puerta de color café, la casa de color azul y se colocaron las ventanas de vidrio de 4 mm de espesor. Posteriormente para la implementación de las capas del prototipo de techo verde extensivo se incorporaron las siguientes capas: capa vegetal, capa de sustrato, laminas antirraiz, manta protectora, capa drenante, capa filtrante soporte (estructura del techo). Asimismo, para el

prototipo de techo verde modular se implementaron 8 macetas con cuatro capas: capa vegetal, sustrato, capa filtrante y soporte [15]. La vegetación utilizada para el prototipo de techo verde modular fue: portulaca pilosa (Flor Diez del Día) y Aptenia cordifolia. Para el prototipo de techo verde extensivo se usó como capa vegetal Miscanthus Sinensis (césped chino) y el sustrato estaba compuesto por composta y humus de lombriz californiana [12], [16]. Igualmente, para la instrumentación de los prototipos se utilizaron 2 sensores de temperatura y humedad (Dht11), Arduino uno, 2 interruptores, modulo lector sd, bomba sumergible, relevadores, display lcd (20x4), cables, relevador, etc. Se implemento el sistema (datalogger) en cada uno de los prototipos, al igual que se implementó un sistema de riego para el techo extensivo, se usó el software Arduino para realizar el programa y guardar las variables de temperatura y humedad cada 5 minutos en un periodo de tiempo de nueve de la mañana a 5 de la tarde para hacer la comparación de qué tipo de techo reduce más la temperatura y la humedad. Del mismo modo se usó el programa Fritzing para hacer el circuito electrónico y posteriormente hacer el montaje de este en placa para mejorar su funcionamiento.

## RESULTADOS

Se concluyó la construcción de los tres prototipos, uno con la implementación del techo verde de tipo extensivo con su sistema de riego por aspersores, el techo verde modular y el techo plano de concreto. También se instalaron los tres modelos al ambiente ubicándolo en la parte trasera del taller de energías renovables del TecNM Campus Progreso, en un periodo de tiempo de 9:00 am a 5:00 pm durante el mes de mayo. De igual manera se guardaron los datos obtenidos en una memoria micro Sd para posteriormente comparar los datos de humedad y temperatura entre los modelos como se observa en la figura

6. Además, en la figura 7 se observa el circuito eléctrico utilizado para la instrumentación, que permitió el análisis comparativo de temperatura y humedad en los prototipos en condiciones ambientales. En la figura 8 se observa la caja de control donde se almacenan los datos, se controla el sistema de riego, y se puede ver en tiempo real la variación de temperatura y humedad de los modelos propuestos.



Figura 6. Prototipos terminados, ubicados en el taller de energías renovables del TecNM Campus Progreso.

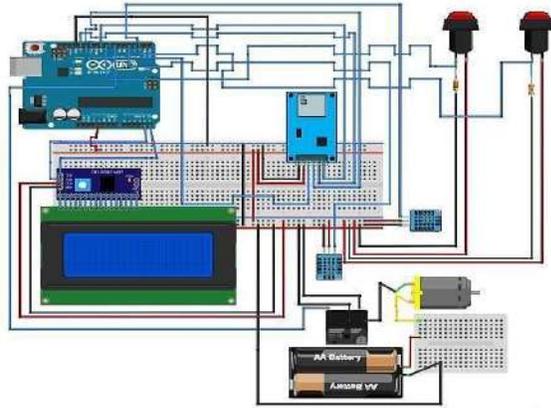


Figura 7. Diseño del sistema de control elaborado en el programa Fritzing.



Figura 8. Caja de control del circuito electrónico.

En la Tabla 1 se aprecia los datos estadísticos derivados del análisis de cada 5 minutos de los tres prototipos utilizados para la comparación de la temperatura y humedad en condiciones ambientales, para comprobar si lo que dice la literatura que se reduce la temperatura y la humedad de los techos verdes en comparación con un techo convencional que por el contrario gana mayor temperatura por el material del que este hecho.

Tabla 1. Datos estadísticos de la temperatura y humedad de los tres prototipos utilizados, usando como comparador el techo plano convencional que utilizan las viviendas de Progreso Yucatán

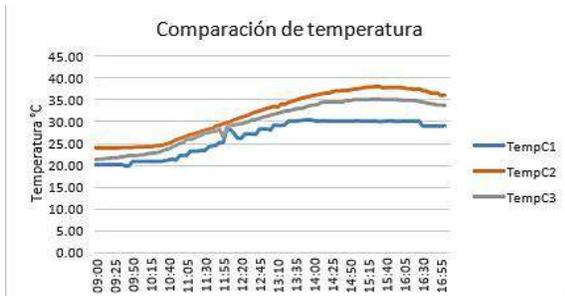
Techo verde extensivo				
Variable	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar
Humedad (%)	59	61	69	0.0989
Temperatura (°C)	26.22	28.30	30.1	3.9075
Techo plano				
Humedad (%)	80	81	81	0.0572
Temperatura (°C)	31.92	31.4	34.9	4.9774
Techo verde modular				
Humedad (%)	77	79	82	0.0572
Temperatura (°C)	29.33	31.4	34.9	4.9774

Los resultados obtenidos de la comparación tanto de temperatura y humedad de los diferentes modelos como se observa en las figuras 9 y 10. El prototipo de techo verde extensivo en promedio obtuvo una temperatura de 26.22 °C y 59 % de humedad, el techo plano de concreto 31.92 °C y 80 % de humedad y el techo verde modular una temperatura de 29.33 °C y 77 % de humedad, esto nos indica que la

temperatura de la casa donde se implementó el techo verde extensivo es la más eficiente como aislante térmico e incluso reduce la humedad del interior del recinto.



**Figura 9. Datos de comparación de la humedad entre los tres tipos de modelos implementados donde: HumC1 es “techo verde extensivo”, HumC2 “techo plano” y HumC3 “techo verde modular.”**



**Figura 10. Datos de comparación de la temperatura en grados celsius entre los tres tipos de modelos implementados donde: TempC1 es “techo verde extensivo”, TempC2 “techo plano” y TempC3 “techo verde modular.”**

La temperatura media y humedad al interior de los prototipos de viviendas bajo estudio, evaluadas en el mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán fue significativamente mayor en los dos prototipos de techos verdes, que en aquella con techo plano de concreto. Esto es un indicador de que los prototipos de techos verdes propuestos efectivamente mitigaron la carga térmica de los techos utilizados. Las reducciones de temperaturas en los prototipos de techo verde extensivo y modular fueron de 5.7 y 2.59 °C respectivamente con respecto al prototipo de

techo plano de concreto y una disminución de 2.48 °C con respecto a la temperatura media exterior de Progreso Yucatán. Esos resultados son mayores a los reportados por Rosatto et al. [17] en su trabajo realizado en Buenos Aires Argentina sobre la regulación térmica utilizando cubiertas vegetadas extensivas con sistema de riego en donde obtuvo una reducción de temperatura de 3.3 °C con respecto al techo de concreto. Asimismo, Beltrán-Melgarejo et al. [15] reportó una reducción de temperatura de 3.4 y 4.5 °C utilizando prototipos casa-habitación de 4x4x3 m, donde se implementó el techo verde modular, techo extensivo y techo de concreto en un clima seco-subhúmedo, estos resultados son similares a los obtenidos en este estudio, pero con mayor disminución de temperatura en el prototipo de techo extensivo utilizado en esta investigación. Al igual que las reducciones de temperatura reportadas fueron menores a Alpuche et al. [18] en su trabajo “Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes” realizó la comparación entre dos casas de 43m<sup>2</sup> en donde se implementó un techo extensivo y en otra de concreto reportando una disminución de temperatura de 6°C con respecto a la casa de concreto, el estudio se llevó a cabo en Hermosillo Sonora durante un año. Liu y Baskaran [19] realizaron un estudio de 2 años de duración en el que se comparan los efectos sobre la temperatura interior de una edificación, encontrando que el uso del techo verde extensivo en promedio logró reducir la temperatura en 5°C en comparación con un techo con impermeabilizante claro. Del mismo modo este resultado es menor a lo reportado en nuestro trabajo utilizando el techo extensivo con cubierta vegetal (pasto chino). Otro rasgo de esta investigación es que las plantas utilizadas en la capa vegetal para este estudio resistieron las condiciones ambientales del puerto de Progreso Yucatán, por lo tanto, la portulaca pilosa (Flor Diez del Día), Aptenia

cordifolia y *Miscanthus Sinensis* son una buena opción para implementar en los techos verdes. Los resultados obtenidos de este estudio sugieren que la implementación techos verdes en el puerto de Progreso y en general en la península de Yucatán, contribuiría a la disminución de la temperatura al interior del recinto y a su vez esto permitiría poder generar pequeños ecosistemas de plantas, insectos, reducir el consumo de aires acondicionados y disminuir la huella de carbono. Como seguimiento de esta investigación se plantea realizar el estudio de un año con los tres prototipos para tener un estudio más preciso de la temperatura y humedad, al igual que ir variando la vegetación que se utilizaría en las capas de los techos verdes, buscando incorporar más plantas endémicas del estado de Yucatán. Asimismo, se implementaría un sensor de sonido para verificar si lo que dice la literatura sobre los techos verdes que funcionan como aislante acústico, dicho estudio tendría una duración de un mes y realizar un estudio costo-beneficio de los tipos de techos verdes, por medio de los prototipos realizados para poder visualizar si es factible la implementación de techos verdes en Progreso Yucatán.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México Campus Progreso y a la Universidad Autónoma de Campeche por brindarnos las herramientas y espacios para el desarrollo de este proyecto.

### CONCLUSIONES

El diseño realizado en SolidWorks y la simulación fueron eficientes debido a que los modelos propuestos pudieron soportar el peso de los dos tipos de techos verdes.

El prototipo de techo verde extensivo y modular alcanzaron una reducción del 17.85 y 10.90 % de temperatura con respecto al prototipo de techo plano de concreto y una reducción del

8.64 % con respecto a la temperatura media exterior del mes de mayo en el municipio de Progreso Yucatán. Al obtenerse menos ganancias de calor a través de los techos verdes, se presenta un menor gasto energético por concepto de disminución en el uso de aire acondicionado, lo cual finalmente representa un ahorro que se ve reflejado en la facturación de la energía eléctrica y así contribuir a la disminución de gases de efecto invernadero. El confort térmico no se puede lograr simplemente implementando un techo verde bajo las condiciones ambientales prevalecientes en el verano en la península de Yucatán, ya que se requiere el uso de aparatos mecánicos de ventilación para lograr el confort térmico de los ocupantes, sin embargo, la implementación de estos permite reducir la necesidad de aires acondicionados. Aunado a esto en el estado de Yucatán a nivel de investigación científica e implementación de esta tecnología se encuentra en una etapa temprana, por lo tanto, se abre un abanico de posibilidades y oportunidades a futuras investigaciones respecto a los beneficios que es posible obtener con base en las condiciones ambientales, sociales y económicas del estado de Yucatán.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Velázquez, P. Anza, J. Gutiérrez, B. Sánchez, A. Hernando, and A. García-Abril, "Planning and selection of green roofs in large urban areas. Application to Madrid metropolitan area," *Urban For Urban Green*, vol. 40, pp. 323–334, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.ufug.2018.06.020.
- [2] I. Ziogou, A. Michopoulos, V. Voulgari, and T. Zachariadis,

- “Implementation of green roof technology in residential buildings and neighborhoods of Cyprus,” *Sustain Cities Soc*, vol. 40, pp. 233–243, Jul. 2018, doi:10.1016/j.scs.2018.04.007.
- [3] M. Köhler and A. Michael Clements, “Green Roof Infrastructures in Urban Areas,” in *Sustainable Built Environments*, New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 249–267. doi: 10.1007/978-1-4614-5828-9\_209.
- [4] J. Villanueva-Solis, A. Ranfla, and A. L. Quintanilla-Montoya, “Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo,” *Información tecnológica*, vol. 24, no. 1, pp. 15–24, 2013, doi: 10.4067/S0718-07642013000100003.
- Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre- 2009, marzo- 2010,” *Terra*, vol. 27, pp. 95–122, 2011.
- [5] Roberth A. Meyers, *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. New York, NY: Springer New York, 2012. doi: 10.1007/978-1-4419-0851-3.
- [6] S. Zielinski, M. A. Garda Collante, and J. C. Vega Paternina, “Green Roofs: A feasible tool for environmental management in the hospitality sector of El Rodadero, Santa Marta?,” *Gestión y Ambiente*, vol. 15, no. 1, pp. 91–104, 2012, [Online]. Available: [http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:45026899](http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45026899)
- [7] Enriqueta García, *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, 5th ed. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- [8] E. E. Ordoñez López and M. M. Pérez Sánchez, “Green roofs and white roofs thermal performance comparison using IR techniques,” *Acta Univ*, vol. 25, no. 5, pp. 11–19, Oct. 2015, doi: 10.15174/au.2015.782.
- [9] F. Abass, L. H. Ismail, I. A. Wahab, and A. A. Elgadi, “A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 713, no. 1, p. 012048, Jan. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/713/1/012048.
- [10] K. L. Getter and D. B. Rowe, “The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development,” *HortScience*, vol. 41, no. 5, pp. 1276–1285, Aug. 2006, doi: 10.21273/HORTSCI.41.5.1276.
- [11] E. E. Ordóñez-López, C. Zetina-Moguel, and M. Pérez-Cortés, “Sobrevivencia y cobertura de plantas en techos verdes durante el estiaje en Yucatán,” *Ingeniería*, vol. 16, no. 2, pp. 93–107, 2012, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46725067004>
- [12] N. A. Lopez Machado, W. J. Barreto Cordero, E. D. Rodriguez Alvarado, and J. R. Romero Cabrera, “Evaluación del impacto de un techo verde sobre la escorrentía urbana usando un modelo a escala,” *Revista Técnica*, vol. 43, p. 26+, 2020, [Online]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A620328537/IFME?u=anon~c611e796&sid=googleScholar&xid=7e94296b>
- [13] M. Köhler and A. M. Clements, “Green Roofs, Ecological Functions,” in *Sustainable Built Environments*, New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 282–306. doi: 10.1007/978-1-4614-

- 5828-9\_207.
- [14] A. Beltrán-Melgarejo, M. de la C. Vargas-Mendoza, A. Pérez-Vázquez, and J. C. García-Albarado, “Confort térmico de techos verdes con *Cissus verticillata* (Vitaceae) en viviendas rurales tropicales,” *Rev Mex De Cienc Agric*, no. 9, pp. 1551–1560, Apr. 2018, doi: 10.29312/remexca.v0i9.1047.
- [15] T. Emilsson and K. Rolf, “Comparison of establishment methods for extensive green roofs in southern Sweden,” *Urban For Urban Green*, vol. 3, no. 2, pp. 103–111, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.ufug.2004.07.001.
- [16] H. Rosatto, G. F. Botta, A. Tolón Becerra, H. Tardito, and M. Leveratto, “Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica,” *Rev Fac Cienc Agrar*, vol. 48, no. 1, pp. 197–209, 2016, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382846012004>.

## Diseño de software de control para bomba de infusión de medicamentos para pacientes hospitalarios

Alfredo Carrasco Aráoz<sup>1</sup>  
alfredo.ca@teziutlan.tecnm.mx

Luis Manuel García Martínez<sup>2</sup>  
luis.gm@teziutlan.tecnm.mx

Contacto:  
alfredo.ca@teziutlan.tecnm.mx  
231 104 5151

### Optimización de Procesos

Alfredo Carrasco Aráoz<sup>1</sup>, Maestría, Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

Luis Manuel García Martínez<sup>2</sup>, Maestría, Ingeniería Mecatrónica, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

**RESUMEN:** *En el presente trabajo se propone el desarrollo de un programa de cómputo para el control de una bomba para transfundir medicamentos a pacientes hospitalarios, la problemática surge en el pasado periodo de pandemia en donde la mayor preocupación fue contar con respiradores mecánicos sin embargo en tan desafortunado evento el segundo dispositivo médico carente fueron las bombas para la aplicación de tratamiento mediante la vía intravenosa. La propuesta consiste en el desarrollo de un algoritmo de control para una bomba de infusión con la finalidad de controlar el flujo del fármaco prescrito así como realizar la captura de los signos vitales del paciente, oxigenación, temperatura y frecuencia cardíaca. Para llegar al cometido es necesario la implementación de un control de velocidad del motor mediante la implementación de un regulador del tipo Proporcional Integrativo Derivativo, para la toma del vólvulo se utilizará para la toma de la frecuencia*

*cardíaca y la oxigenación se utiliza un sensor del tipo mediante la refracción de la luz infrarroja en el tejido vivo para el registro de la temperatura se utilizará un transductor resistivo del tipo PTC. Los datos recabados serán mostrados en una pantalla touch conectada a una Raspberry PI3 misma que servirá para ejecutar el programa que será desarrollados en Python en su versión 3.10 cabe mencionar que el programa determinará el caudal automáticamente con los datos que introduce el auxiliar de la salud, asimismo cuando los valores medidos alcancen valores fuera de la normalidad se emitirá una alerta.*

**PALABRAS CLAVE:** *Control PID, Bomba de Infusión, Raspberry Pi, Infusión de Medicamentos.*

**ABSTRACT:** *In the present work, we propose the development of a computer*

***program for controlling an infusion pump used to administer medications to hospital patients. The issue arose during the recent pandemic period when the primary concern was having mechanical ventilators. However, during this unfortunate event, the second medical device in short supply was the infusion pumps for intravenous treatment administration. The proposal involves developing a control algorithm for an infusion pump with the goal of regulating the flow of the prescribed drug and capturing the patient's vital signs, including oxygenation, temperature, and heart rate. To achieve this objective, it is necessary to implement motor speed control using a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller. Heart rate will be measured using an infrared sensor for the pulse, and oxygenation levels will be monitored using an infrared light refracting sensor on live tissue. For temperature recording, a resistive transducer of the PTC type will be used. The collected data will be displayed on a touch screen connected to a Raspberry Pi 3. This Raspberry Pi will also execute the program, which will be developed in Python version 3.10. It is worth mentioning that the program will automatically determine the flow rate based on the input provided by the healthcare assistant. Additionally, it will issue an alert when the measured values deviate from normal parameters***

**KEYWORDS:** PID Control, Infusion Pump, Raspberry Pi, Medication Infusion.

## INTRODUCCIÓN

Los errores en la medicación son la principal causa de daños en pacientes en centros de salud, específicamente en áreas de cuidado intensivo y quirófanos. Con base en la Anesthesia Patient Safety Foundation, más de la mitad de los errores de medicación que causan lesiones al paciente ocurren durante la fase de administración. A lo largo de la historia de estos dispositivos, su principal utilidad radica en infundir medicamentos por vía intravenosa.

Sin embargo, su utilidad y precisión se a puesto a prueba con el surgimiento de la pandemia por COVID-19, pues el total de los pacientes que infortunadamente llegan a las áreas de cuidado intensivo de los distintos centros de salud, requieren hasta seis de estos dispositivos para suministrar una infusión continua de medicamentos, nutrición y otros fluidos, durante sus procesos terapéuticos.

Al reconocer la creciente demanda de este tipo de sistemas mecatrónicos la FDA emitió en 2020, una guía para estimular el acceso a los dispositivos para los pacientes infectados con COVID-19, con el fin de promover acciones tanto en las compañías, como en los centros de investigación, para proponer soluciones ante esta emergencia de salud pública.

De ahí la importancia y el área de oportunidad que tienen las Instituciones de Educación Superior para fomentar la investigación a partir de la solución de problemas devenidos del entorno y específicamente, aquellos que permitan contribuir en el manejo y tratamiento eficiente de pacientes cuya atención debe ser primordial.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Como puede observarse la tecnificación de los cuidados hacia los pacientes hospitalarios es cada día más frecuente y necesario con la venida de la industria 4.0 y la red de internet 5G los dispositivos asociados a el internet de las cosas a IoT (por sus siglas en ingles), esto con lleva a el desarrollo de software de control para los sistemas antes descritos.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizo el lenguaje Python el cual es un multi plataforma amén de ser el utilizado para la programación en computadoras de una sola tarjeta tales como Raspberry Pi, tinker board, jetson nano, por citar algunas; para propósitos académicos e incluso comerciales, dicha licencia es administrada por Python Software Foundation [1] [2].

El programa de la interfaz de control del dispositivo deberá de tener la capacidad para mantener el flujo constante del medicamento transfundido al paciente aunado a esto podrá capturar los valores de temperatura, oxigenación y frecuencia cardiaca. El programa se pensó para ejecutarse en una computadora de una sola tarjeta, es este caso en particular la Raspberry PI 3B misma en la cual se montará el programa de control, teniendo una pantalla touch de 3 ½ pulgadas como interfaz entre el usuario y la máquina. El programa se desarrollará utilizando el lenguaje de alto nivel Python en su versión 3.12 el cual permite su uso bajo licenciamiento como software libre [2].

Antes de comenzar la descripción de la solución es preciso mencionar los requerimientos con los requerimientos que precisa el dispositivo, de los cuales se desprende el algoritmo de control:

- a. El programa de cómputo tendrá la capacidad de controlar y mantener el flujo de medicamento constante.
- b. El sistema realizara la captura de los signos vitales del paciente:

oxigenación, temperatura y frecuencia cardiaca.

- c. El algoritmo de control ajustara automáticamente la velocidad de la infusión, con base a los datos que se ingresen por el personal médico.
- d. Para realizar el ingreso o modificación de los datos del paciente, medicación y tiempo de administración el personal deberá de acceder mediante el uso de una clave.

En párrafos anteriores se menciona que el dispositivo deberá de controlar le flujo de el medicamento. Para lograr esto es necesario implementar un control de velocidad del motor que impulsa el mecanismo de la bomba.

Para tener un punto de partida se toma el diseño mecánico de la bomba el cual se desarrolló con herramientas de dibujo asistido por computadora (CAD por sus siglas en ingles).

La figura 1 muestra el ensamble del prototipo el cual para fines de prueba de concepto de fabricar utilizando técnicas de manufactura aditiva utilizando como material de extracción un filamento de PLA de uso comercial.

La figura 2 muestra el mecanismo que se utiliza para mover el mecanismo de la bomba peristáltica utilizada para mover el fármaco, el mecanismo cuenta con una reductora de velocidad formada por un tren de engranes de doble reducción.

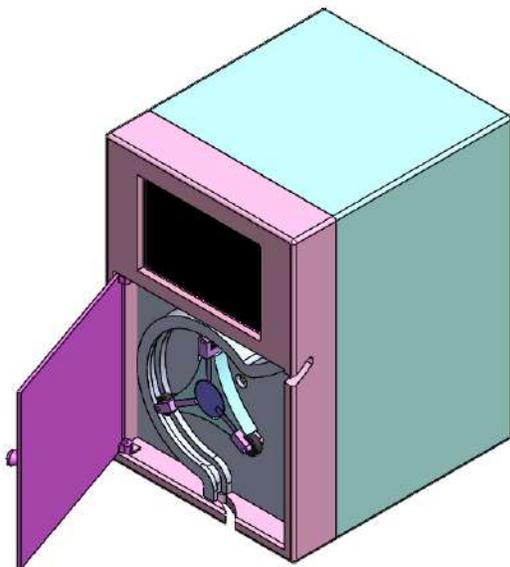


Figura 1 vista completa del dispositivo modelado mediante herramientas de CAD (Fuente: Elaboración propia 2023).

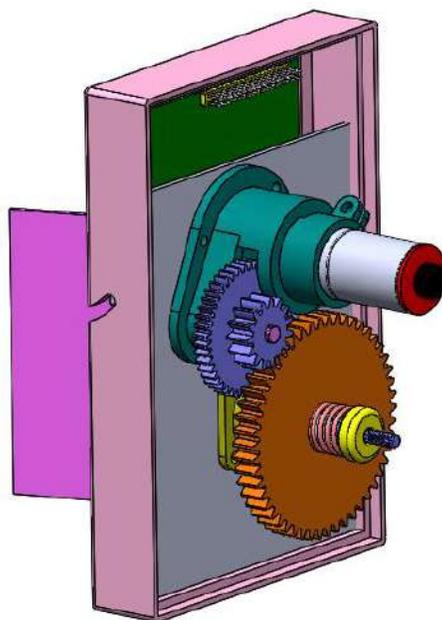


Figura 2 mecanismo de reducción de velocidad (Fuente: Elaboración propia 2023).

Una vez conocida la relación de reducción se determina, el rango de la velocidad angular que deberá de desarrollar el motor, para mantener las revoluciones por minuto constantes se emplea un controlador PID el que se desarrolla mediante software utilizando como lenguaje de programación Python mismo que a demostrado ser efectivo en el desarrollo de la actividad antes dicha.

Como es sabido el controlador PID brinda resultados satisfactorios en el control de sistemas de motores de corriente continua, estas prestaciones se han demostrado tanto para el control de velocidad, temperatura, presión por citar algunos [3], [4], [5], [6]

Para el desarrollo de la presente propuesta se pensó en implementar el controlador PID mediante software, Madhana., et al (2023) utilizan este tipo de implementación para el control de la orientación de un satélite en donde demostró que cuenta con la capacidad de respuesta necesaria para lograr la estabilidad de la máquina [7], el lenguaje utilizado para el la programación del algoritmo por sus versatilidad y prestaciones es ampliamente utilizado el medio académico, donde ha sido utilizado para tareas similares dando excelentes resultados [8], [9], [10].

Una vez establecido el punto de partida para el diseño de la programación de control se realiza una maqueta de las vistas que conformarán la interfaz de usuario, la figura 3 muestra la pantalla en la cual se introducirán los datos con los cuales se determinarán los valores de las variables de control; cabe mencionar que antes de ingresar o modificar los ajustes el programa pide una contraseña y si las credenciales del password son las indicadas se otorga el permiso de modificación, habilitándose el botón de validar, con lo que se despliega un teclado en la pantalla touch de la aplicación una vez ingresados los datos del nombre del paciente y el nombre del medicamento a suministrar desaparece este, permitiendo la selección del

volumen y el tiempo en el que se suministrara el fármaco.

$$V_r = \frac{\pi^2}{2} D_t r_b \quad (2)$$

Figura 3 Interfaz donde se configuran los datos del paciente (Fuente: Elaboración propia 2023).

Con los datos que se capturan se determina el flujo de medicamento que se suministra, con la ecuación 1 se determina el flujo en  $\text{cm}^3$  por minuto.

$$Q_m = \frac{V_m}{60t} \quad (1)$$

Donde:

$Q_m$  = Gasto del medicamento ( $\text{cm}^3 / \text{min}$ )  
 $V_m$  = Volumen del medicamento (mL)  
 $t$  = tiempo de administración (horas)

Con el conocimiento del diámetro del interior del tubo de la venoclisis y el radio de la voluta de la bomba peristáltica se determina el número de revoluciones por minuto a las que debe de girar el motor que proporcionará la fuerza motriz al mecanismo mostrado en las figuras 1 y 2. Donde la relación de reducción de los engranes es conocida, así como el diámetro de la venoclisis. La expresión 2 determina el volumen desplazado por la bomba en una revolución del impulsor.

Donde:

$V_r$  = Volumen por revolución ( $\text{cm}^3/\text{rev}$ )  
 $D_t$  = Diámetro del tubo de la venoclisis(cm)  
 $r_b$  = Radio de la voluta de la bomba(cm)

realizando el cociente entre la ecuación 1 y la ecuación dos se obtiene la ecuación 3 que determina el número de revoluciones por minuto que entregara el motor.

$$RPM = \frac{2V_m}{60\pi^2 t D_t r_b} i \quad (3)$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto del motor  
 $i$  = Relación de trasmisión

Para finalizar cabe mencionar que la variable que modifica el valor de las revoluciones es el gasto de medicamento que a su vez esta definido por el volumen del medicamento del tiempo de aplicación del fármaco.

## RESULTADOS

Tras la codificación del algoritmo se tiene un programa de usuario, que cumple con las características que se plantearon al inicio.

La figura 4 muestra la interfaz principal de la bomba en ella se muestra el valor de los signos vitales, así como la dosis del medicamento que se está suministrando al paciente hospitalizado.

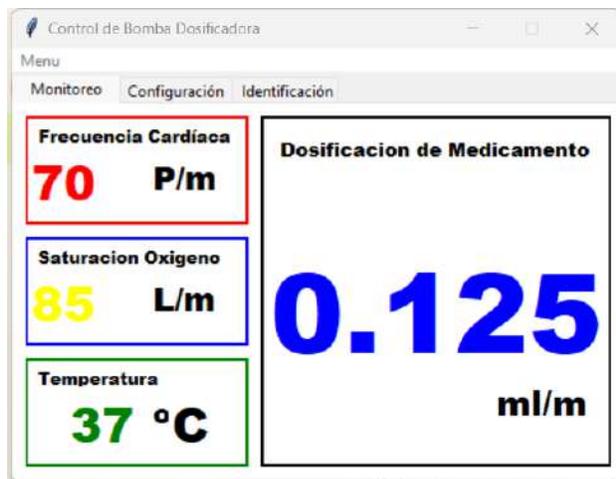


Figura 4 interfaz principal del programa (Fuente: Elaboración propia 2023).

En la figura antes mencionada se observa que los valores cambian de color de acuerdo con la distancia con el punto crítico de igual forma emitirá una alarma, el aviso además de ser auditivo la enviará mediante mensajería al teléfono del personal de asistencia médica.

La figura 5 muestra la pantalla donde se ajusta el volumen del medicamento que se a de transfundir. Para que los datos se puedan introducir se hace la petición de una contraseña la cual al ser valida las cajas de texto y las listas desplegables se habilitan y se despliega un teclado que perite la escritura, a través de la pantalla touch del dispositivo. La figura 6 muestra el teclado este tras introducir el dato del paciente automáticamente se cambia a la casilla de nombre del medicamento y de igual forma al terminar de introducir el nombre de la medicina se cierra el teclado para poder seleccionar el valor del volumen de medicamento y el tiempo de su administración.



Figura 5 Interfaz de configuración de los parámetros de configuración de la medicación (Fuente: Elaboración propia 2023).



Figura 6 teclado en la pantalla del sistema (Fuente: Elaboración propia 2023).

La figura 7 muestra la interfaz donde se encuentra el control de inicio de las actividades, tras presionar el botón de iniciar se calcula el caudal y las revoluciones del motor y se aplica el valor a la ley de control descrita por la ecuación 4:

$$Salida = PWMA + q_0E_0 + q_1E_1 \quad (4)$$

Donde:

PWMA = Valor PMW anterior  
 $q_0$  = caudal anterior  
 $E_0$  = Error anterior  
 $q_1$  = caudal actual  
 $E^1$  = Error actual

```
salPWM = int(pwm[len(pwm) - 1] *
4095 / 100)

# Aplica la acción de control en
el PWM
print('velocidad ', salPWM)

return salPWM
```



Figura 7 inter faz de control (Fuente: Elaboración propia 2023).

El fragmento de código que se muestra en la figura 8 muestra el método de la clase que implementa la ley de control del PID

```
@staticmethod
def calculoPWM(self, setPoint,
PWMActual, pwm, error, q0, q1, q2):

    # Actualiza los vectores u y e
    pwm = PID.actualizarVectotor(42,
pwm, len(pwm))
    error =
PID.actualizarVectotor(42, error,
len(error))

    # Calcula el error actual
    error[len(error) - 1] = setPoint
- PWMActual

    # Calcula la Acción de Control
PID
    pwmSalida = PID.leyPID(42, pwm,
error, q0, q1, q2) # Max= 100, Min=0
    pwm[len(pwm) - 1] = pwmSalida
```

Figura 8 Implementación de la ley de control PID (fuente propia2023).

La figura 9 muestra el prototipo desarrollado para sintonizar y medir el desempeño del controlador PID,

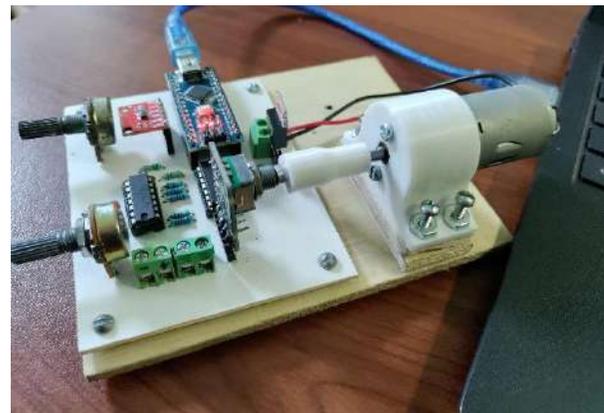


Figura 9 prototipo de sistema de control del motor para la bomba dosificadora (Fuente: Elaboración propia 2023).

El fragmento de código mostrado en la figura 10 muestra el modelo del sistema en esta parte se manipularon las constantes para ajustar la sintonía del regulador PID

```
# Modelo del Sistema
K = 5
tau = 350
theta = 3
Ts = 10
L = theta + Ts / 2

kp = (1.2 * tau) / (K * L)
ti = 2 * L
td = 0.5 * L

q0 = kp * (1 + Ts / (2 * ti) + td /
```

$$q1 = -kp * (1 - Ts / (2 * ti) + (2 * td) / Ts)$$

$$q2 = (kp * td) / Ts$$

**Figura 10** Variables manipuladas para el ajuste de la sintonía del regulador PID (Fuente: Elaboración propia 2023).

La tabla uno exhibe una muestra de la heurística aplicada para la sintonización del controlador PID. La figura 11 muestra al prototipo conectado al equipo de cómputo que se utilizó para la programación de la interfaz de control.

**Tabla 1** muestra de los resultados del funcionamiento del regulador PID (Fuente: Elaboración propia 2023)

K	tau	theta	Ts	RPM calculadas	RPM medidas
5	200	3	10	150	300
5	300	3	10	150	235
5	350	3	10	150	151



**Figura 11** muestra al prototipo conectado a la interfaz de control de la bomba de infusión. (Fuente: Elaboración propia 2023).

## CONCLUSIONES

A lo largo del presente documento se presentó el diseño de un algoritmo con el cual realizar el control del caudal de medicamento que se aplica vía intravenosa al paciente, para alcanzar el objetivo se realizó un regulador PID pensado para implementarse sobre una computadora de una sola tarjeta en este caso en particular la Raspberry PI 3, los resultados demostraron que el empleo del control antes mencionado tiene un desempeño adecuado para la aplicación propuesta. Tras la sintonización adecuada del regulador se pudo observar que la velocidad del motor permanecía constante una vez alcanzado el estado estacionario, de igual forma ante las perturbaciones que se introducían al sistema (frenando el eje del motor de forma manual), el sistema corregía la velocidad angular del eje.

De manera concluyente se puede decir que el control cumplió adecuadamente con las metas planteadas.

## TRABAJO FUTURO

Como trabajo futuro se tiene contemplado realizar el prototipo a tamaño real utilizando para su construcción técnicas de manufactura aditiva, empleando como material de fabricación filamento de PLA, así como la programación en la tarjeta Raspberry PI 3, para lograr un dispositivo funcional. De igual forma se pretende realizar la modificación la interfaz para poder realizar graficas del historial de los datos biométricos del paciente con la finalidad de que posteriormente puedan ser evaluados por los especialistas de la salud.

## REFERENCIAS

- [1] A. P. López, «"COURSERA",» Curso de detección de objetos, 2014. [En línea]. Available: <https://www.coursera.org/learn/deteccion-objetos/>. [Último acceso: 28 octubre 2023].
- [2] Python, «documentación de Python - 3.12.0,» 2023. [En línea]. Available: <https://docs.python.org/es/3/license.html>. [Último acceso: 15 octubre 2023].
- [3] E. M. Díaz y H. Fuentes, «Identificación e Implementación de un Controlador PID de Temperatura Basado en la Curva de Respuesta,» *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Laredo*, vol. 1, n° 4, 2018.
- [4] C. Falcon y C. Albert, Utilización del middleware Orococos en un sistema embebido de placa reducida para implementar un controlador PID de posición en un robot paralelo tipo delta simulado en VREP, Quito: Quito : EPN, 2023., 2023.
- [5] A. C. Marquez, Sistema de control PID sintonizado por algoritmo de Evolución Diferencial y Ziegler-Nichols aplicado a motores de CD, Querétaro, Querétaro, México: Univercidad Autónoma de Queretaro, 2021.
- [6] U. M. Hernández, B. A. Marcelo y B. M. Barrón, «Control PID Convencional con Filtro Pasa Bajas para el Control de Velocidad de un Motor de CD,» *REIA*, vol. 5, n° 1, pp. 16-19, 2019.
- [7] K. M. Mohan, U. Anitha y K. Anbumani, «CubeSat attitude control by implementation of PID controller using python,» *2023 12th International Conference on Advanced Computing (ICoAC), Chennai, India, 2023*.
- [8] S. Berrones, R. Barcia y O. Miguel, «Sintonizacion de Controladores PID para el Control de la Velocidad de Motores de Corriente Continua mediante Algoritmos Geneticos,» *PERSPECTIVAS*, vol. 1, n° 2, pp. 31-37, 2019.
- [9] python-control.org, «Python Control Systems Library dev documentation,» 22 dic 2018. [En línea]. Available: <https://python-control.readthedocs.io/en/latest/>. [Último acceso: 14 octubre 2023].
- [10] L. A. R. Abellán, «Desarrollo de una aplicación interactiva para el diseño de controladores PID basada en Python, Alicante, España: Universitat Miguel Hernandez, 2023.

## Diseño de un horno de temperatura variable para tratamientos térmicos

Juan Muñoz Bordonave<sup>1</sup>  
192t0578@itsm.edu.mx

Kevin Osmar Tapia Gonzalez<sup>2</sup>  
182t0565@itsm.edu.mx

Rogelio Arroyo Cruz <sup>3</sup>  
rogelioarroyocruz@itsm.edu.mx

Ana Roselyn Pérez Méndez<sup>4</sup>  
Joel Maurilio Morales Garcia<sup>5</sup>

arperezm@itsm.edu.mx  
jmmoralesg@itsm.edu.mx

Contacto:  
rogelioarroyocruz@itsm.edu.mx  
+52 235 103 9136

### Análisis térmico

Autor 1,2, Estudiante, Ingeniería Electromecánica, Tecnológico Nacional de México campus Misantla;

Autor 3,4,5 Docente, Ingeniería. Electromecánica, Tecnológico Nacional de México campus Misantla

**RESUMEN:** El proyecto se centra en el desarrollo de un horno eléctrico con temperatura variable para tratamientos térmicos mediante la metodología de Diseño para Seis Sigma (DFSS). A diferencia de los modelos existentes en el mercado, este prototipo se distingue por su amplio rango de temperatura, alcanzando hasta 1250°C, y un sistema de control completamente seguro. La fase inicial implica el diseño y simulación del horno utilizando el software SolidWorks. La simulación, respaldada por análisis de elementos finitos, permite abordar problemas que podrían resultar difíciles de resolver mediante cálculos convencionales.

El software también facilita la observación del comportamiento térmico de los materiales, ajustando la cantidad y disposición de capas necesarias. Este enfoque iterativo permite el rediseño del horno según sea necesario, optimizando el uso de materiales y evitando gastos innecesarios. El objetivo final es obtener un horno eléctrico optimizado, con un diseño estático adaptable, que ofrezca resultados satisfactorios y eficientes, asegurando la inversión monetaria se traduzca en un producto de alta calidad y rendimiento. La implementación de la metodología DFSS garantiza un enfoque sistemático y efectivo en cada etapa del proceso de diseño del horno eléctrico.

**PALABRAS CLAVE:** *Horno eléctrico con temperatura variable de 0°C a 1 250°C para tratamientos térmicos.*

**ABSTRACT:** *The project focuses on the development of a variable temperature electric oven for heat treatments using the Design for Six Sigma (DFSS) methodology. Unlike existing models on the market, this prototype is distinguished by its wide temperature range, which reaches up to 1250°C, and a completely safe control system. The initial phase consists of the design and simulation of the oven using SolidWorks software. Simulation, supported by finite element analysis, allows us to address problems that could be difficult to solve through conventional calculations.*

*The software also makes it easier to observe the thermal behavior of materials, adjusting the number and arrangement of layers necessary. This iterative approach allows the oven to be redesigned as necessary, optimizing the use of materials and avoiding unnecessary expenses. The final objective is to obtain an optimized electric oven, with an adaptable static design, that offers satisfactory and efficient results, ensuring that the monetary investment translates into a product of high quality and performance. Implementation of the DFSS methodology ensures a systematic and effective approach at every stage of the electric furnace design process.*

**KEYWORDS:** *Electric oven with variable temperature from 0°C to 1,250°C for heat treatments.*

## INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX se inventaron los hornos eléctricos industriales, el primer horno eléctrico industrial fue lanzado al mercado en 1967, en el siglo XIX ya existían hornos de electricidad, en este siglo fue el momento en donde la

distribución eléctrica y tecnología estaban adecuadas para estos productos, de manera que estos equipos tenían mejoras e implementaron bobinas de calentamiento por resistencias, y una mejora en el diseño [1].

El primer horno eléctrico industrial de 1967, era un horno de convección el cual contaba con ventiladores y piezas calefactoras. Este horno tenía la capacidad de mantener el parámetro de temperatura uniforme, de manera que la temperatura se distribuía en todas las partes de la cámara del horno. Teniendo en cuenta el parámetro de temperatura constante, este horno fue aplicado en varios sectores, tal como, fundición de metales, tratamientos térmicos, curación de resinas y pinturas, esterilización de objetos, cocción de alimentos, entre otros [1].

La importancia de los hornos eléctricos industriales en la actualidad, es que estos pueden ser autónomos y se pueden implementar en sistemas de producción en serie, dando como ventajas una disminución de costos, gracias a la implementación de sistemas de producción más seguros y eficientes, otra ventaja es la optimización de las materias primas, siendo así, un proceso amigable con el medio ambiente [2].

Los hornos eléctricos industriales son equipos fabricados específicamente para hacer procesos de calentamiento o de fundición a diferentes temperaturas, estos hornos operan por encima de la temperatura ambiente. De manera similar, estos hornos pueden tratar térmicamente un material, dando paso a los 4 tipos de tratamientos térmicos que existen, para finalmente, hacer operaciones de forjado, formado y recubrimiento de piezas con otros metales. Este tipo de calentamiento se puede dar de dos formas diferentes, de forma directa, es decir, sobre el material a tratar o de forma indirecta que se da a través de los mecanismos de transferencia de calor, los cuales son: conducción, convección y radiación [3][4].

Los hornos industriales para tratamientos térmicos se utilizan especialmente para dar características a los metales o piezas a tratar,

los procesos que se llevan dentro del horno pueden ser, tratamientos térmicos, templado de materiales o piezas, revinado, austenización, entre otros [3].

Existen diferentes tipos de hornos para realizar tratamientos térmicos, solo que existen diferencias entre ellos, todo depende básicamente de la operación que se desee realizar.

Los hornos industriales para tratamientos térmicos se pueden clasificar dependiendo de la manipulación del metal en el proceso de calentamiento dentro del horno. Existen dos tipos básicos de hornos para tratamientos térmicos, el horno periódico comúnmente conocido como el horno “Dentro-Fuera” y el horno continuo. Los hornos periódicos son aquellos, que calientan la pieza a una determinada temperatura, una vez que el horno llega a la temperatura deseada, retiran la carga y posteriormente sacan la pieza, se repite este proceso las veces que sean necesarias, hasta que la pieza tenga las características que el operario desee. Los hornos continuos, son aquellos que tienen la temperatura constante a lo largo del tiempo de sometimiento de la pieza [3].

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Desarrollo de la metodología seis sigmas por etapas.

#### Etapas 1: Selección de materiales para el horno.

Los hornos eléctricos para tratamientos térmicos, deben de tener un buen aislamiento para evitar que el calor generado en ellos se escape. Los hornos de altas temperaturas son caracterizados por utilizar materiales aislantes y refractarios. Los materiales que se consultaron son creados en el país.

Los materiales refractarios utilizados en el horno son, los ladrillos de fibra cerámica LFC 1780 y el Concreto refractario CR 2400 estos materiales son los encargados de mantener los choques de calor internos. Los materiales

aislantes utilizados para evitar las pérdidas de calor acumulado en la cámara del horno son, tablas de fibra cerámica TFC 1260, Eco-baldosa (Material desarrollado en el Instituto tecnológico superior de Misantla) y Lamina de acero galvanizado. En la tabla 1 se muestran las medidas de espesores necesitados para la creación del horno.

**Tabla 1. Espesores de las paredes del horno.**  
**Fuente: Elaboración propia**

Material	Espesor
Ladrillo de fibra cerámica LFC 1780	2.5 pulgadas
Concreto refractario CR 2400	2 – 5 mm
Tabla de fibra cerámica TFC 1260	3 pulgadas
Eco-baldosa	1.5 cm
Lamina de acero galvanizado	3 mm

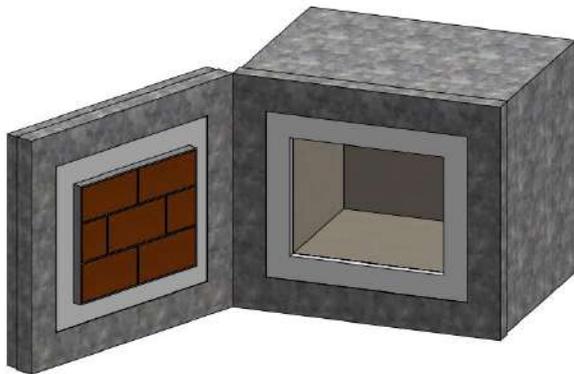
#### Etapas 2: Distribución de los materiales.

De acuerdo con la distribución de los materiales refractarios, se necesitan una pared de ladrillos de fibra cerámica LFC 1780, recubierta con concreto refractario CR 2400 de ambos lados. La distribución de los materiales aislantes será una pared de tabla de fibra cerámica TFC 1260, una pared de placas de Eco-baldosa (Material desarrollado en el Instituto tecnológico superior de Misantla) y el recubrimiento final será de lámina de acero galvanizado, en la figura 1, se muestra la distribución de los materiales.

C A M A R A  D E L	H O R N O	M O R T E R O	R E F R A C T A R I O  L A D R I L L O	M O R T E R O	R E F R A C T A R I O  T A B L A	E C O I B A L D O S A	A C E R O
---	-----------------------	---------------------------------	---	---------------------------------	--	---	-----------------------

**Figura 1. Distribución 2D de los materiales aislantes y refractarios del horno.**  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la distribución antes mencionada del horno de resistencias eléctricas, en la figura 2 se muestra el acabado de la bóveda y la puerta del horno.



**Figura 2. Diseño del horno de resistencias eléctricas.**  
Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 3: Cálculo térmico del horno.

De acuerdo con los temas de transferencia de calor, se necesita saber las pérdidas de calor que existen en el horno.

Entrando al análisis de transferencias de calor se obtienen las siguientes ecuaciones de transferencia.

**Conducción:** La conducción es un proceso en donde la transmisión de calor está basada en el contacto directo entre un cuerpo y otro. La conducción solo sucede en los sistemas que tienen moléculas de sólidos, líquidos o gases, en estos deben existir un gradiente de temperatura. La conducción en los sólidos se debe a el intercambio de vibraciones moleculares a través de los electrones libres

que posee el objeto. Mientras que la conducción en los líquidos y gases se debe a las colisiones y fusiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio. El modelo matemático para calcular la conducción se conoce como la ley de Fourier. A continuación, se muestra la ecuación.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. (1)}$$

**Convección:** La transferencia de calor por el mecanismo de convección se da en tres tipos de superficies, superficie sólida, líquida y gaseosa, estas superficies deben de estar en movimiento constante y deben comprender los efectos combinados de la conducción y comprender el movimiento de fluidos. Mientras más rápido sea el movimiento del fluido, mayor es la transferencia de calor por convección [4]. Las transferencias de las energías se deben a los movimientos moleculares aleatorios, es decir, por conducción; estas energías son acarreadas alejándolas de la superficie; a este mecanismo la transferencia de energías se debe al movimiento global o macroscópico de agregados del fluido [5].

Existen dos tipos de procesos de convección; la convección forzada y la convección libre o natural, la convección forzada, es aquella en donde se obliga el movimiento de un fluido por una superficie debido al efecto de un equipo externo como un ventilador o una bomba, y la convección natural, en este proceso los cambios de densidad de los fluidos a consecuencia del intercambio natural de energía provocan un movimiento libre en el fluido; sin importar la naturaleza de los procesos de transferencia de calor por convección [5][6]. La ecuación o modelo matemático apropiado es el que se muestra a continuación:

$$q = h * A * (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. (2)}$$

**Radiación:** La radiación es una energía emitida por un material en forma de ondas electromagnéticas, da como resultado

diferentes cambios en la configuración de composición de la materia, es decir, una configuración electromagnética en los átomos y moléculas. La transferencia de calor por el mecanismo de radiación, no requiere de un medio interior, se dice, que esta forma de transferencia de calor es más rápida como la velocidad de la luz y no sufre atenuación al vacío. La radiación es la manera en cómo llega la energía del sol a la tierra [4].

Este mecanismo de transferencia de calor es un fenómeno volumétrico y en todos los estados de la materia ya sean sólidos, líquidos y gases, emiten, absorben o transmiten radiación en diferentes proporciones. Sin embargo, esta forma de transferencia de calor suele considerarse como un fenómeno superficial para los materiales opacos a la radiación térmica [7].

El modelo matemático se muestra a continuación:

$$\frac{q}{A} = \sigma * T^4 \quad \text{Ec. (3)}$$

Teniendo en cuenta los tres mecanismos de transferencia de calor, se empieza a generar un análisis de transferencia en el horno. el cálculo de las pérdidas de calor por paredes, se debe realizar un análisis de calor de manera unidimensional en estado estacionario de la pared compuesta, se considera una temperatura interior superficial de 1 250°C y una temperatura superficial del exterior de 33°C. Se obtiene un dato promedio de la temperatura de la ciudad de Misantla de 28°C, este dato es obtenido de la página de weatherspark. De acuerdo a la ubicación geográfica del Instituto Tecnológico Superior de Misantla se obtiene la siguiente gráfica de temperatura.

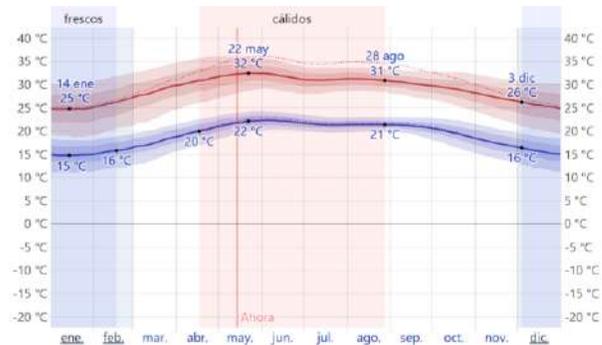


Figura 3. Gráfica del comportamiento de la temperatura en la ciudad de Misantla del año 2023. Fuente: weathers park [8].

Para agregar variables a nuestro análisis debemos de tener en cuenta las siguientes consideraciones.

Los materiales de cada capa deben soportar las temperaturas máximas de operación entre cada capa o pared del horno.

Se deberá tener una radiación uniforme, por lo cual la posición de los materiales se determina dependiendo de sus propiedades. Las propiedades que se deben de tener en cuenta es la temperatura máxima de trabajo, la conductividad térmica del material, y un buen aislamiento de la temperatura. Por lo tanto, en la figura 4, se muestran las variables contempladas para el cálculo.

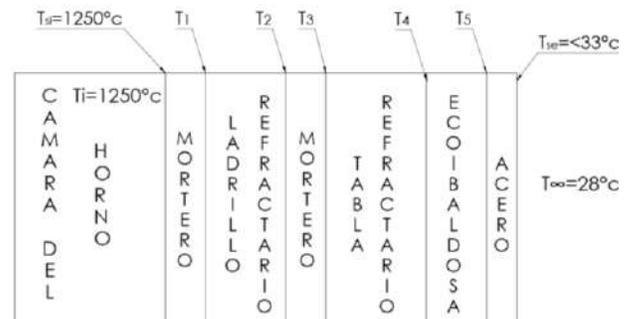


Figura 4. Modelo unidimensional con las variables consideradas para la elaboración del cálculo. Fuente: Elaboración propia.

Contemplando la suma de las potencias de los tres mecanismos de transferencia de calor, se le agrega la potencia requerida para el

calentamiento de algún acero, en la ecuación 4 se muestra la suma total de las potencias.

$$Q_{Total} = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} + Q_R \quad \text{Ec. (4)}$$

### RESULTADOS

De acuerdo con los análisis antes mencionados, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Resultados de la potencia total requerida para el horno.**

*Fuente: Elaboración propia*

Resultado de la potencia total requerida para el horno de resistencias eléctricas.	
Tipo de análisis	Potencia en Watts
Conducción	1 794.70 W
Convección	735 W
Radiación	15.35 W
Potencia requerida de calentamiento	1 634.5 W

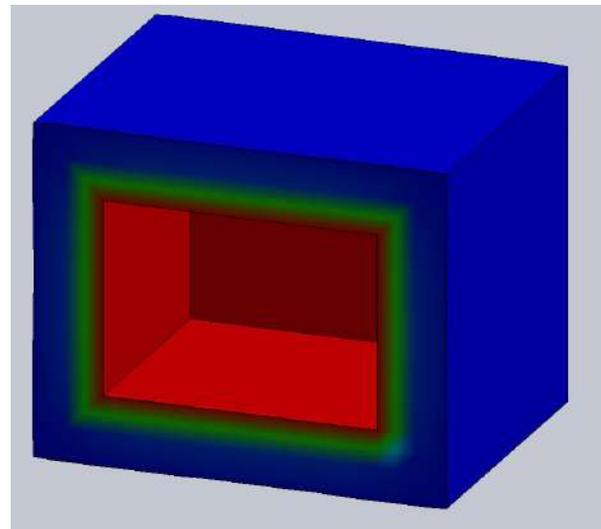
De la tabla 2, se muestran los resultados de los tres mecanismos de transferencia de calor. Para obtener la potencia requerida de calentamiento se tomo en cuenta calentar 4.500 Kg de acero ASTM A36, este acero es un acero comercial, el cual se someterá a temperaturas de 200°C a 750°C, con la finalidad de hacer temple, el tiempo de sometimiento a altas temperaturas es de 15 a 20 min según el temple que se desee realizar, dando, así como resultado 1.63 KW de potencia requerida de calentamiento. El horno de resistencias eléctricas estará alimentado por una tensión de 220V, de acuerdo con los resultados de la tabla 2, el horno requiere una potencia total de 4.17KW, por lo tanto, en la tabla 3, se muestran los datos del horno para el sistema eléctrico.

**Tabla 3. Resultados del sistema eléctrico.**

*Fuente: Elaboración propia*

Resultados del sistema eléctrico para el horno de resistencias eléctricas.	
Alimentación	220 V
Potencia	4.17 W
Corriente	19 A
Resistencia eléctrica	11.5 Ω

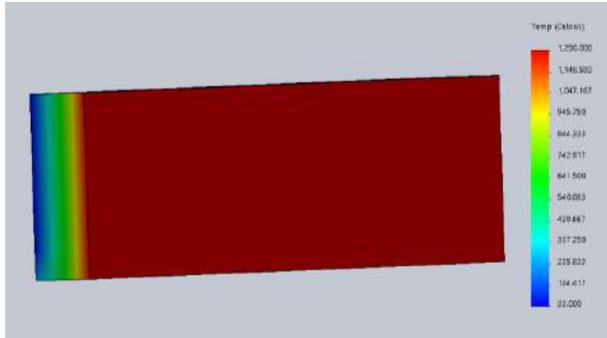
Los resultados del comportamiento térmico en las paredes del horno, se obtuvieron con ayuda del programa SolidWorks, se realizaron pruebas de calentamiento en la cámara del horno y se realizaron análisis de transferencia de calor en las paredes para ver el comportamiento de los materiales aislantes y refractarios, en la figura 5 se muestra el análisis de calentamiento en el horno cuando opera a 300°C.



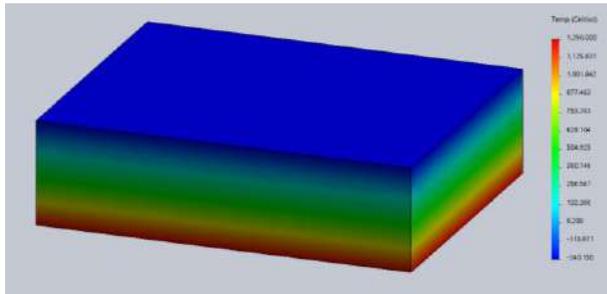
**Figura 5. Simulación de calentamiento en la cámara del horno a 300°C.**

*Fuente: Elaboración propia.*

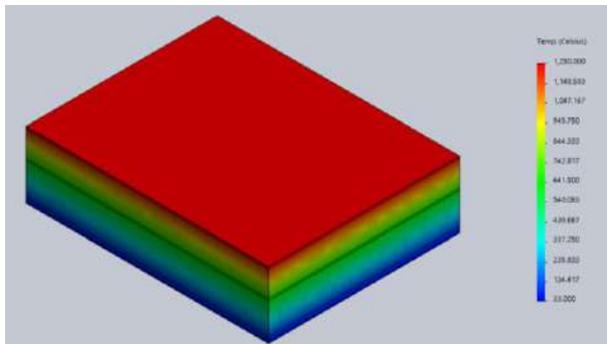
Para mejorar el análisis y ver el comportamiento térmico, en las figuras 6, 7 y 8 se muestra un análisis térmico de las paredes verticales y horizontales con la máxima temperatura de operación.



**Figura 6. Simulación del análisis térmico a través de las paredes verticales a 1 250°C.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7. Simulación del análisis térmico a través de la pared horizontal superior (techo) a 1 250°C.**  
Fuente: Elaboración propia.



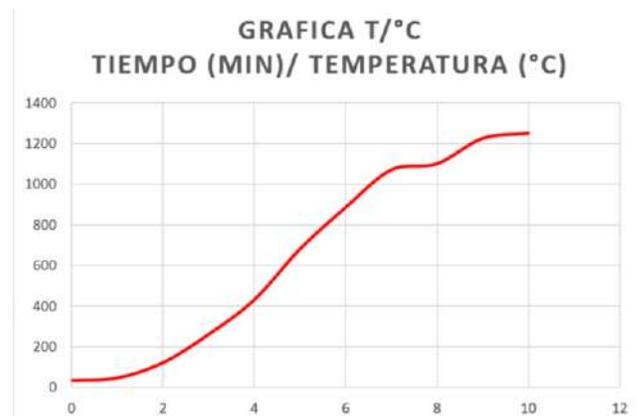
**Figura 8. Simulación del análisis térmico a través de la pared horizontal inferior (piso) a 1 250°C.**  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las simulaciones del comportamiento térmico de las figuras 6, 7 y 8 dan como resultado un perfil de temperaturas, en la figura 9 se muestra la gráfica del perfil de temperaturas en las paredes del horno.



**Figura 9. Gráfica del perfil de temperatura.**  
Fuente: Elaboración propia.

Producto de las simulaciones antes mostradas también se obtuvo el tiempo requerido para que el horno llegue a su temperatura máxima de operación, el tiempo que se requiere es de 10 min, en la siguiente figura se muestra la gráfica del tiempo máximo requerido para que el horno llegue a la temperatura de 1 250°C.



**Figura 10. Gráfica del tiempo de calentamiento del horno.**  
Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados de los cambios drásticos de la temperatura interna el horno soporta una temperatura de 1 250°C como la máxima temperatura de operación. Para el caso de los revestimientos las temperaturas que existen entre pared y pared no sobrepasan la máxima temperatura de

operación de cada uno de los materiales aislantes y refractarios.

Con ayuda de las simulaciones se pudo encontrar la grafica del perfil de temperaturas, la cual nos muestra la información detallada de los materiales aislantes, y se puede observar el comportamiento de la eco-baldosa (material creado en el instituto tecnológico superior de Misantla) la cual está en contacto con temperaturas arriba de los 100 °C y no mayores a 300°C, la eco-baldosa como material aislante reduce la temperatura de 130°C a una temperatura ambiente.

El tiempo máximo de calentamiento de un horno de altas temperaturas dura de 8 min a 12 min en llegar a su punto máximo de operación, este horno que se está simulando tarda solo 10 min para alcanzar la temperatura de 1 250 °C cumpliendo así con el objetivo planteado del proyecto.

Clima-promedio-en-Misantla-durante-todo-el-año/ [8]

## BIBLIOGRAFÍA

De Powdertronic. El horno: historia de un artefacto; Retrieved Marzo 02, 2020, from <https://powdertronic.com/el-horno-historia-de-un-artefacto/> [1]

De Fibracim. Tipos de hornos industriales; Retrieved Febrero 17, 2023, from <https://fibracim.com/blog/tipos-de-hornos-industriales/> [2]

De Electrohert Induction. Hornos Industriales en la Metalurgia; Retrieved Mayo 03, 2023, from <https://electrohertinduction.com.mx/horno-industrial-en-la-metalurgia/> [3]

[4] Y. A. Ghajar. Transferencia de calor y masa. México: McGraw-Hill, 2011.

[5] F. P. Dewitt. Fundamentos de Transfencia de Calor. México: Cengage Learning, 1999.

[6] A. C. Yunus. Transferencia de calor y masa; Un enfoque práctico Tercera edición. España: McGraw-Hill, 2011.

[7] J. Á. Manrique Valadez. Transferencia de Calor: Segunda Edición, España: Universidad Ibero Americana, 2002.

De weather spark. El clima promedio en todo el año en Misantla, ver; Retrieved Mayo 18, 2023, from <https://es.weatherspark.com/y/8676/>

## Aplicación móvil para la recopilación de acontecimientos relevantes en la región de Miantla mediante técnicas de Inteligencia Artificial

Juan Carlos Durán Hernández  
jcarlos.dh20N@gmail.com

Jesús Antonio Pérez López  
srantony2675550100@gmail.com

Ana Keren Córdova Riviello  
AnaKerenCR@gmail.com

Galdino Martínez Flores  
gmartinezf@itsm.edu.mx

Irahán Otoniel José Guzmán  
iojoseg@itsm.edu.mx

Contacto:  
gmartinezf@itsm.edu.mx  
2283662034

### ***Inteligencia Artificial***

Juan Carlos Durán Hernández, estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Miantla, Tecnológico Nacional de México

Jesús Antonio Pérez López, Instituto Tecnológico Superior de Miantla, Tecnológico Nacional de México

Ana Keren Córdova Riviello, Instituto Tecnológico Superior de Miantla, Tecnológico Nacional de México

Galdino Martínez Flores, estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Miantla, Tecnológico Nacional de México

Irahán Otoniel José Guzmán, estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Miantla, Tecnológico Nacional de México

### **RESUMEN**

En esta investigación, se planteó el desarrollo de una aplicación móvil destinada a recopilar noticias relacionadas con eventos de interés y carácter de seguridad, principalmente centradas en la zona de Miantla, Veracruz. La implementación de la

Inteligencia Artificial, basada en métodos como el Scrapping de datos, fue propuesta como una herramienta clave para este propósito. En el proceso, se recopilaron noticias provenientes de cuentas de redes sociales mediante la utilización de palabras clave específicas

proporcionadas por los usuarios. Posteriormente, estas noticias fueron sometidas a un proceso de verificación a través de reconocidas páginas de periodismo de confianza, garantizando la claridad de la información y su pertinencia con la zona de Misantla. Cada noticia fue geolocalizada en un mapa de Misantla y clasificada mediante una escala de colores, la cual representa el grado de la situación. Esta clasificación permitió distinguir eventos peligrosos de eventos públicos de manera efectiva. La escala de colores se diseñó para reflejar, en tiempo real, niveles de riesgo, donde el verde denota seguridad, el amarillo precaución, el naranja advertencia y el rojo peligro inminente. Esta representación visual permitió a los usuarios identificar rápidamente el nivel de riesgo en su entorno, facilitando una respuesta ágil y apropiada a la situación. El propósito fundamental de esta aplicación era proporcionar a los usuarios un mayor nivel de consciencia sobre su entorno, ofreciendo acceso a noticias de seguridad e información detallada sobre situaciones en sus alrededores.

**PALABRAS CLAVE:** Aprendizaje automático, inteligencia artificial, scrapping, análisis de datos, procesamiento de lenguaje natural (NLP)

#### **ABSTRACT**

In this research, the development of a mobile application aimed at collecting news related to events of interest and

security nature was proposed, mainly focused on the area of Misantla, Veracruz. The implementation of Artificial Intelligence, based on methods such as data scraping, was proposed as a key tool for this purpose. In the process, news from social media accounts was collected using specific keywords provided by users. Subsequently, these news were subjected to a verification process through recognized trusted journalism pages, guaranteeing the clarity of the information and its relevance to the Misantla area. Each news item was geolocated on a map of Misantla and classified using a color scale, which represents the degree of the situation. This classification made it possible to distinguish dangerous events from public events effectively. The color scale was designed to reflect, in real time, risk levels, where green denotes safety, yellow caution, orange warning and red imminent danger. This visual representation allowed users to quickly identify the level of risk in their environment, facilitating an agile and appropriate response to the situation. The fundamental of this application was to provide users with a higher level of awareness about their surroundings, offering them access to security news and detailed information about situations in their surroundings.

**KEYWORDS:** Machine learning, artificial intelligence, scrapping, data analysis, natural language processing (NLP)

## INTRODUCCIÓN

En la actual era digital, la tecnología de inteligencia artificial ha demostrado su potencial en diversos campos, y uno de ellos es el ámbito de la seguridad y velocidad para reunir información. En este contexto, se ha desarrollado un proyecto innovador que busca utilizar la inteligencia artificial para crear una aplicación móvil que recolecta noticias locales y las visualice en un mapa, categorizándolas según su nivel de peligrosidad. Esta aplicación ofrece a los usuarios la posibilidad de trazar rutas seguras basadas en los acontecimientos actuales.

La creciente disponibilidad de datos en tiempo real y el avance de los algoritmos de aprendizaje automático han abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de soluciones que mejoren la seguridad y la toma de decisiones de las personas. En este proyecto, se emplea la inteligencia artificial para recolectar y procesar noticias locales provenientes de diversas fuentes confiables. A través de algoritmos de clasificación y análisis de datos, la aplicación categoriza las noticias según su gravedad y las muestra en un mapa interactivo.

El estudio realizado por Jairo J. Pinto-Hidalgo y Jorge A. Silva-Centeno (2021) demuestra que el uso de modelos avanzados de Inteligencia Artificial Geoespacial es efectivo para detectar áreas relacionadas con crímenes ambientales transnacionales en la selva amazónica. Utilizaron 30,000 imágenes

multiespectrales obtenidas de Sentinel-2 y se apoyaron en diversas fuentes de datos para obtener información precisa. Los resultados indican que esta herramienta es útil para identificar áreas afectadas por la minería de recursos naturales y la deforestación en la selva amazónica con una exactitud global del 96.56 por ciento..

El estudio fue realizado por Tejedor Calvo, S., Cervi, L., Pulido, C. M. y Pérez-Tornero, J. M. (2021) titulado "Análisis de la integración de sistemas inteligentes de alertas y automatización de contenidos en cuatro cibermedios" se centra en el uso de la inteligencia artificial en la elaboración de noticias y cómo puede facilitar el trabajo del periodista de manera más eficiente. El artículo aborda el estudio de varios cibermedios y entrevistas realizadas a periodistas y editores con el fin de recopilar información sobre el uso de la inteligencia artificial en la creación de noticias. Los autores concluyen que la inteligencia artificial puede ser una herramienta valiosa para los periodistas al procesar grandes cantidades de información y generar contenido de manera más eficiente. Sin embargo, también destacan la necesidad de que los periodistas sean conscientes de las limitaciones y riesgos asociados con el uso de la inteligencia artificial, y sugieren la implementación de medidas para salvaguardar la calidad y veracidad de la información producida con su ayuda.

En el trabajo realizado por Cepeda Benavides, J. S. & Bermúdez Beltrán, M. A. nos muestra de primera mano una solución para la detección y corrección de irregularidades en las vías de transporte

utilizando los sistemas integrados en los móviles para la detección de movimientos irregulares y clasificarlos dependiendo del estado de la vía. A partir de una base de datos de 200 señales, se calculan características estadísticas en tiempo y frecuencia relacionadas con el estado de la vía. Midieron el desempeño en diferentes clasificadores lineales y no lineales, obteniendo un resultado mayor al 86% para clasificadores SVM (Support Vector Machine).

En su estudio titulado "Videovigilancia e inteligencia artificial: entre la utopía y la distopía" (Zamora, 2021), el autor analiza la evolución de los sistemas de videovigilancia en México, comparándolos con países de Europa y Asia. Destaca la escasa legislación y narra la construcción de políticas públicas en este ámbito. Según datos del INEGI (2019), se contabilizaron 53,949 cámaras de videovigilancia y 71,794 botones de pánico en el país. Se implementaron herramientas y reglas para proteger la privacidad de las personas en un entorno cada vez más saturado de cámaras de seguridad. A pesar de vivir en una sociedad altamente videovigilada, no se ha observado una reducción en la incidencia delictiva ni en la percepción de inseguridad. En cambio, se ha vuelto común la vulneración de la privacidad en espacios públicos. Este estudio, publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Penales, resalta la evolución de la videovigilancia en México, la falta de marco legal sólido y la preocupación por la invasión de la privacidad en la sociedad actual, a pesar de la presencia masiva de

cámaras de seguridad (Zamora, 2021, p. 8-38).

Hurtado Terán, A. E., & Llumigusín Chamba, J. J. (2017) investigaron métodos para la creación de una interfaz gráfica destinada a la visualización de una red de grafos georeferenciados, modelan una red de tráfico vehicular con distancias y posiciones (vértices y aristas) de las avenidas de un cuadro principal de Quito, utilizando algoritmos de aproximación Greedy para la optimización de las rutas en la red de tráfico vehicular y concluyó que utilizando los nuevos algoritmos de sistemas artificiales y trabajando con aplicaciones basadas en programación orientada a objetos se pueden poner marcadores en los mapas que representan semáforos en las intersecciones de las calles, mientras que utilizando algoritmos como Dijkstra y el A-star se puede crear un algoritmo que calcule el camino más corto desde el nodo de origen a un nodo destino, teniendo en cuenta los eventos que se pueden producir por accidentes y aglomeraciones.

El autor Omar Daniel Garcia Mariño (2020) diseñó un prototipo de aplicación móvil para la optimización de rutas mediante mecanismos de inteligencia artificial, el cual utilizó una aplicación móvil desarrollada por el mismo para optimización de rutas basada en información recolectada de la ciudad de Bucaramanga, el cual se basa en el desconocimiento que presentan los conductores acerca de las condiciones de tráfico y como supone como consecuencia que los conductores no lleguen a tiempo,

repercutiendo tanto de forma física como mental, relacionando a ello problemas tales como cefaleas, detrimento en los oídos por ruidos superiores a los 65 decibeles, gripe, bronquitis, entre otros daños al sistema respiratorio debido al exceso de polución. Se plantea desarrollar la aplicación utilizando un Framework Multiplataforma, el cual genera código cien por ciento nativo en android e iOS..

En el artículo "Periodismo deportivo automatizado: Estudio de caso de AnaFut, el bot desarrollado por El Confidencial para la escritura de crónicas de fútbol" (Rojas-Torrijos & Toural, 2019), se analiza el uso de la Inteligencia Artificial en el periodismo deportivo a través de AnaFut, un bot desarrollado por El Confidencial. El estudio se basó en ochenta crónicas publicadas, entrevistas a periodistas y cuestionarios a expertos. Los resultados indican que el periodismo automatizado está en una etapa inicial, siendo los medios tecnológicamente avanzados los líderes en la innovación. (Rojas-Torrijos & Toural, 2019, p. 235-254).

Finalmente, es posible apreciar que existe la oportunidad de crear una aplicación que detecte noticias de acontecimientos recientes en un área local y los localice geográficamente haciendo usos de diferentes herramientas de Inteligencia Artificial.

**METODOLOGÍA**

En este trabajo de investigación se requiere recolectar eventos de diversas fuentes y clasificarlas posteriormente. Para el desarrollo de esta aplicación móvil se

empleo la metodología mostrada en la figura 1.

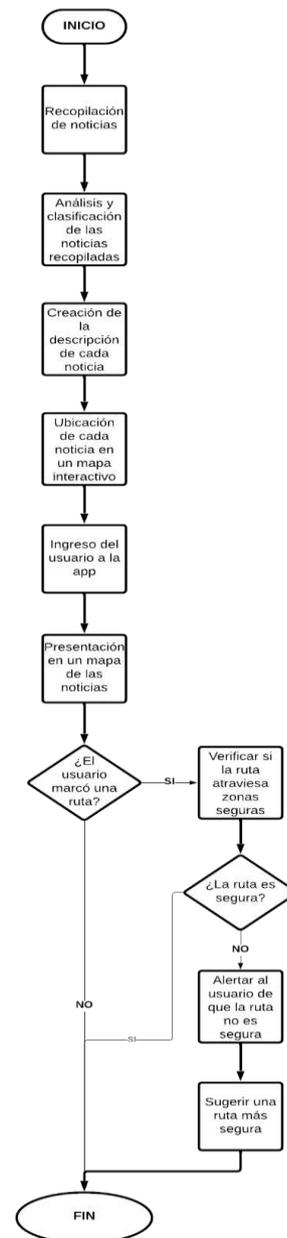


Figura 1. Metodología.

Se identificaron las fuentes confiables de información, las cuales son para este proyecto páginas web de periódicos locales y cuentas oficiales de redes sociales de autoridades locales en Misantla. Estas fuentes son la base de datos para obtener los datos relevantes.

Después se analizó la estructura de estas fuentes para comprender cómo se presentan los datos de útiles recopilados, como titulares de noticias, descripciones de eventos, fechas y ubicaciones. Este análisis permitirá determinar cómo extraer eficientemente la información de estas fuentes.

Una vez comprendida la estructura, se seleccionó una herramienta de Scapping que cumpla con las necesidades del proyecto, como Scrapy para este caso debido a su potencia, flexibilidad y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos. Se desarrollaron los scripts de web scraping. Estos scripts se encargarán de conectarse a las fuentes de información, utilizar selectores CSS, XPath u otras técnicas para acceder a los elementos específicos y extraer los datos requeridos. Se implementaron filtros y reglas adicionales para refinar y procesar los datos obtenidos así como la frecuencia en la que se actualiza la base de datos de la aplicación.

Se tomaron en cuenta los términos de servicio, políticas de privacidad, derechos de autor y leyes de protección de datos al realizar el web scraping ya que es necesario respetar estas normativas y tomar medidas adicionales, como la verificación y filtrado de la información

recopilada, para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos presentados en la app.

Se incorporó el procesamiento de lenguaje natural (NPL) ya que con esta tecnología es posible analizar y clasificar las noticias en base a una escala de colores donde el verde denota seguridad, el amarillo precaución, el naranja advertencia y el rojo peligro inminente, a su vez facilita la generación de resúmenes automáticos y podría ayudar a implementar un motor de búsqueda dentro de la app, este proceso se comunicaría dentro de la app haciendo uso de una API para compartir los datos analizados y clasificados de manera segura con los usuarios receptores.

Al desarrollar la app de este proyecto se utilizó Android Jetpack Compose, se siguió una metodología simple y centrada en el usuario. Se comenzó por comprender los requisitos del proyecto y las necesidades de los usuarios. después, se diseñó una interfaz de usuario intuitiva y atractiva, siguiendo los principios de Material Design y aprovechando las capacidades de composición de Jetpack Compose.

Se implementaron los ViewModels siguiendo el patrón MVVM, que actúan como conectores entre el modelo de los datos y la interfaz de usuario. La capa de datos se integró para interactuar con las fuentes externas de noticias y eventos.

finalmente se integraron las funcionalidades de la aplicación, como la recopilación y visualización de noticias y eventos, utilizando Jetpack Compose para crear las pantallas correspondientes y

conectando los ViewModels para cargar y presentar los datos de manera dinámica.

## RESULTADOS

A continuación se muestran las interfaces más importantes de esta aplicación móvil.



Figura 2. Pantalla principal de la aplicación.

En esta interfaz se muestra el mapa interactivo de la aplicación donde se ubican las noticias en forma de círculo con la escala de colores antes mencionada, es posible presionar cada círculo para obtener una descripción resumida de cada noticia.



Figura 3. Interfaz descriptiva de una noticia de nivel "precaución".



Figura 4. Interfaz descriptiva de una noticia de nivel "Peligro inminente".



Figura 5. Interfaz descriptiva de una noticia de nivel "Seguro".



Figura 6. Interfaz descriptiva de una noticia de nivel "Advertencia".

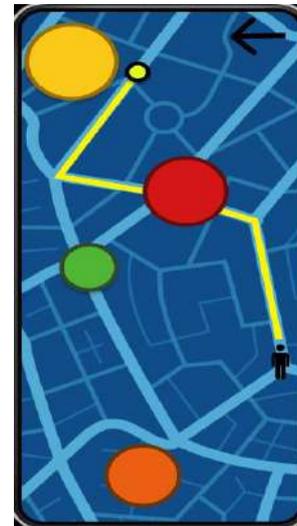


Figura 7. Ejemplo de selección de ruta del usuario.



Figura 8. Alerta de ruta con riesgo.

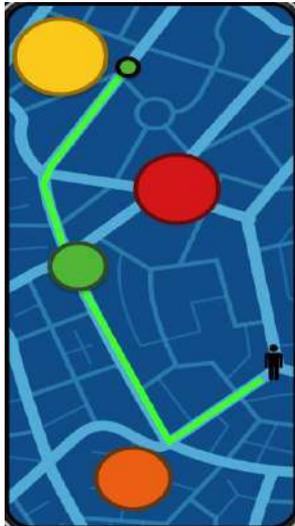


Figura 9. Corrección de ruta de la app.

## CONCLUSIÓN

Este proyecto destaca la implementación de una aplicación respaldada por Inteligencia Artificial, con un enfoque primordial en elevar los estándares de seguridad y prevenir incidentes en la ciudad de Misantla, Veracruz.

La investigación destaca la capacidad tecnológica, particularmente de la Inteligencia Artificial, para recopilar, clasificar y ofrecer información relevante. Este proceso, que facilita la toma de decisiones informadas y la prevención de riesgos en tiempo real, se enfoca en la aplicación de técnicas de representación del conocimiento y estrategias de búsqueda específicas, adaptadas a cada problema y conjunto de datos.

Visto de otro modo, este trabajo subraya cómo la Inteligencia Artificial puede contribuir significativamente a mejorar la

seguridad y la calidad de vida de las personas. La aplicación logró recopilar, analizar, clasificar y representar diferentes noticias de interés público de carácter de seguridad a la ciudadanía de misantla mediante un mapa interactivo en el cuál se ofrecía una descripción de dichas noticias y una sugerencia de rutas más seguras en caso de que el usuario indicara una.

## REFERENCIAS

- Predicción de carreras de rutas de taxi y mejorar la funcionalidad operativa de la cooperativa de taxis Otavalo 29 de diciembre [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12050>
- Tejedor Calvo, S., Cervi, L., Pulido, C. M., & Pérez-Tornero, J. M. (2021). Análisis de la integración de sistemas inteligentes de alertas y automatización de contenidos en cuatro cibermedios.
- Cepeda Benavides, J. S., & Bermúdez Beltrán, M. A. Clasificación del estado vial con sensores celulares e inteligencia artificial.
- Zamora, Á. V. (2021). Videovigilancia e inteligencia artificial: entre la utopía y la distopía. *Revista Mexicana de Ciencias Penales*, 4(14), 8-38.

Fonseca, C. I. Diseño Vial Inteligente Utilizando Técnicas de Inteligencia Artificial.

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14120>

Riaño Quintanilla, A. F. (2023). Desarrollo de un sistema de alertas tempranas por movimientos en masa basado en Inteligencia Artificial para el departamento de Cundinamarca, Colombia.

García Mariño, O. D. (2020). Prototipo de aplicación móvil para la optimización de rutas mediante mecanismos de inteligencia artificial.

Del Rio Cuervo, J. C. Entendiendo comportamientos ciudadanos viales a partir de datos abiertos e inteligencia artificial (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Rojas-Torrijos, J. L., & Toural, C. (2019). Periodismo deportivo automatizado. Estudio de caso de AnaFut, el bot desarrollado por El Confidencial para la escritura de crónicas de fútbol. Doxa Comunicación: revista interdisciplinar de estudios de comunicación y ciencias sociales, 29, 235-254.

Aguilar Torales, R. M. I., & Monterrosa Escobar, A. A. (1996). Representación del conocimiento, métodos de búsqueda y técnicas de aprendizaje en inteligencia artificial.

Modelo-Vista-Modelo de vista - .NET. (s/f). Microsoft.com. Recuperado el 11 de noviembre de 2023, de <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/architecture/maui/mvvm>

Yáñez, C., & Francisco, J. (2023). Procesamiento digital de imágenes mediante inteligencia artificial para la detección de accidentes de tránsito en Quito (Master's thesis, Quito, Ecuador: Editorial UISRAEL).

¿Qué Es el Web Scraping? Cómo Extraer Legalmente el Contenido de la Web. (2022, julio 28). Kinsta®; Kinsta. <https://kinsta.com/es/base-de-conocimiento/que-es-web-scraping/>(S/f). Amazon.com. Recuperado el 11 de noviembre de 2023, de <https://aws.amazon.com/es/what-is/nlp/>

Hurtado Terán, A. E., & Llumigusín Chamba, J. J. (2017). Interfaz gráfica para la visualización de una red de grafos georeferenciados de las principales calles del centro de la ciudad de Quito.

# CARTELES TÉCNICOS

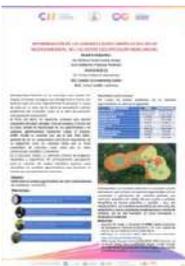
# CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS

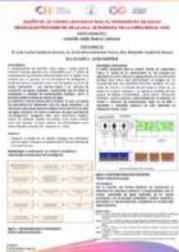
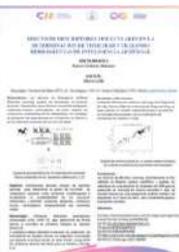
## 2023

CARTELES TÉCNICOS  
CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍAS 2023

<p><b>CII23-CT-001</b></p> 	<p>Diagnóstico inicial en la gestión de activos físicos en instituciones hospitalarias públicas: un caso de estudio.</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-005</b></p> 	<p>Innovación de los procesos de servicio de alimentos y atención al cliente de la empresa "Buffet y Servicio de Meseros ARA"</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-008</b></p> 	<p>Modelo de gestión de inventarios para MYPIMES en la región de Misantla</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-009</b></p> 	<p>Recuperación de hidrocarburos mediante filtros orgánicos</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-010</b></p> 	<p>Optimización de la producción de plantas nativas mediante diseño de experimentos ambientales</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

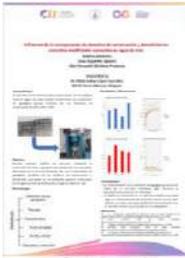
<p><b>CII23-CT-011</b></p> 	<p>Determinación del estrés en una simulación por medio del EEG utilizando una base de datos</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-012</b></p> 	<p>Unidad portátil para lavado y sanitizado de frutas y hortalizas equipado con un sistema de recuperación de agua</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-013</b></p> 	<p>Diseño de un modelo de producción y comercialización de miel de las abejas (<i>Hymenoptera: Meliponini</i>) para la Asociación de Meliponicultores de la región de Misantla, Veracruz.</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-015</b></p> 	<p>Caracterización física de los suelos para el cultivo de café</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-018</b></p> 	<p>Sistema de predicción de empaque de fruto fresco apoyado en aprendizaje automático en los procesos de la cadena de suministro de Lima persa (<i>Citrus latifolia</i>)</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-019</b></p> 	<p>Desarrollo de una aplicación móvil para la búsqueda y renta de inmuebles para estudiantes universitarios</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-020</b></p> 	<p>Prototipo sustentable para el secado y tostado de café con enfoque a pequeñas y medianas empresas</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-023</b></p> 	<p>Determinación de las variables agroclimáticas del nicho medioambiental del cachichin (<i>Ocopedalum Mexicanum</i>)</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-024</b></p> 	<p>Prototipo aeropónico NFT vertical para el cultivo de <i>lactuca sativa</i> en la ciudad de Misantla</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-025</b></p> 	<p>Sistema de punto de venta con sistema de inventario para minisúper "Yeye"</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-026</b></p> 	<p>Alfabetización para mitigar la pobreza en Vega de Alatorre <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-027</b></p> 	<p>Diseño de un sistema biológico para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la sala de matanza de la forrajera El Java <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-028</b></p> 	<p>Elaboración de papel a base de cáscara de limón (<i>citrus limon</i>) <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-029</b></p> 	<p>EcoRutaLimpia: rutas eficientes para un futuro sostenible <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-030</b></p> 	<p>Efecto de descriptores moleculares en la determinación de toxicidad utilizando herramientas de inteligencia artificial <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-031</b></p> 	<p>Propuesta técnica para el saneamiento de la cuenca alta a media del río Misantla, Ver.</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-032</b></p> 	<p>Propuesta de un diseño experimental para evaluar la adición de EPS en concretos y su efecto en las propiedades mecánicas</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-033</b></p> 	<p>Estrés académico en estudiantes universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Misantla</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-034</b></p> 	<p>Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Exploración Petrolera en la región Misantla, Ver.</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-035</b></p> 	<p>Implementación de mejoras en los puestos de trabajo de las panificadoras artesanales</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-036</b></p> 	<p>Aplicación móvil para la recopilación de acontecimientos relevantes en la región de Misantla mediante técnicas de Inteligencia Artificial</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-037</b></p> 	<p>Ergonomía en la industria 4.0: Un enfoque de la inteligencia artificial para la eficiencia y la seguridad ocupacional</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-038</b></p> 	<p>Evaluación de la eficiencia en la atención al cliente de un sistema de reparación de dispositivos móviles a través de técnicas de simulación</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-039</b></p> 	<p>Evaluación de plata coloidal obtenida mediante electrogravimetría como agente microbicida</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-040</b></p> 	<p>Caracterización de aguas contaminadas con BTEX y MTBE en México</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-041</b></p> 	<p>Algoritmo de control para máquina grabadora de placas utilizadas en la decoración de pantalón de mezclilla</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-043</b></p> 	<p>Un análisis teórico de la agricultura regenerativa en contraste con la agricultura convencional</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-044</b></p> 	<p>Influencia de la incorporación de desechos de construcción y demolición en concretos modificados expuestos en agua de mar</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-045</b></p> 	<p>Propuesta del rediseño de la red LAN en el centro de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-046</b></p> 	<p>Diseño de un sistema acuapónico de baja intensidad para la producción de <i>Oreochromis niloticus</i> y <i>Nasturtium officinale</i> para ambientes urbanos</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-047</b></p>	<p>Propuesta de aplicación móvil lúdica para resolución de grafos de matemáticas discretas llamada DiscreteGraphMaster</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-048</b></p>	<p>Uso de sustratos alternativos para mejorar la resiliencia de sistemas productivos mediante tecnología simbiótica: una revisión crítica</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-049</b></p>	<p>Estado actual del uso de técnicas de inteligencia artificial en el proceso de producción artesanal del café</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-050</b></p>	<p>Sistema de riego de cultivos con aguas residuales tratadas: una solución sostenible para la agricultura</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-051</b></p>	<p>Caracterización de la cadena logística inversa para los residuos plásticos y la aplicación para su gestión en México</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-052</b></p> 	<p>Método de fabricación de tableros con resina a partir de residuos lignocelulósicos agroindustriales y agrícolas</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-054</b></p> 	<p>Diseño de un horno con temperatura variable para tratamientos térmicos</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-055</b></p> 	<p>Sistema automatizado para el llenado de depósitos</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-056</b></p> 	<p>Bancos de prácticas para pruebas de instrumentación</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-057</b></p> 	<p>Reingeniería en sistema de medición de estrés térmico</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-058</b></p> 	<p>Invernadero automatizado <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-059</b></p> 	<p>Implementación de paneles solares para el uso de bombas de bajo potencial <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-060</b></p> 	<p>Análisis neuroergonómico para la determinación de la fatiga en los automovilistas <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-061</b></p> 	<p>Aplicación móvil para la conexión de voluntarios y bienestar mental mediante técnicas de inteligencia artificial <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-062</b></p> 	<p>Explorando la relación: giro empresarial y perspectiva directiva en MYPES a través de análisis de varianza <a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>

<p><b>CII23-CT-063</b></p> 	<p>Experiencias en el manejo integral del papel en el Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale, S. L. P.</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>
<p><b>CII23-CT-064</b></p> 	<p>Aplicación móvil para comercializar productos agrícolas para los pequeños productores de la región de Misantla</p> <p><a href="#">VER CARTEL</a></p>
	<p><a href="#">VER VIDEO</a></p>