



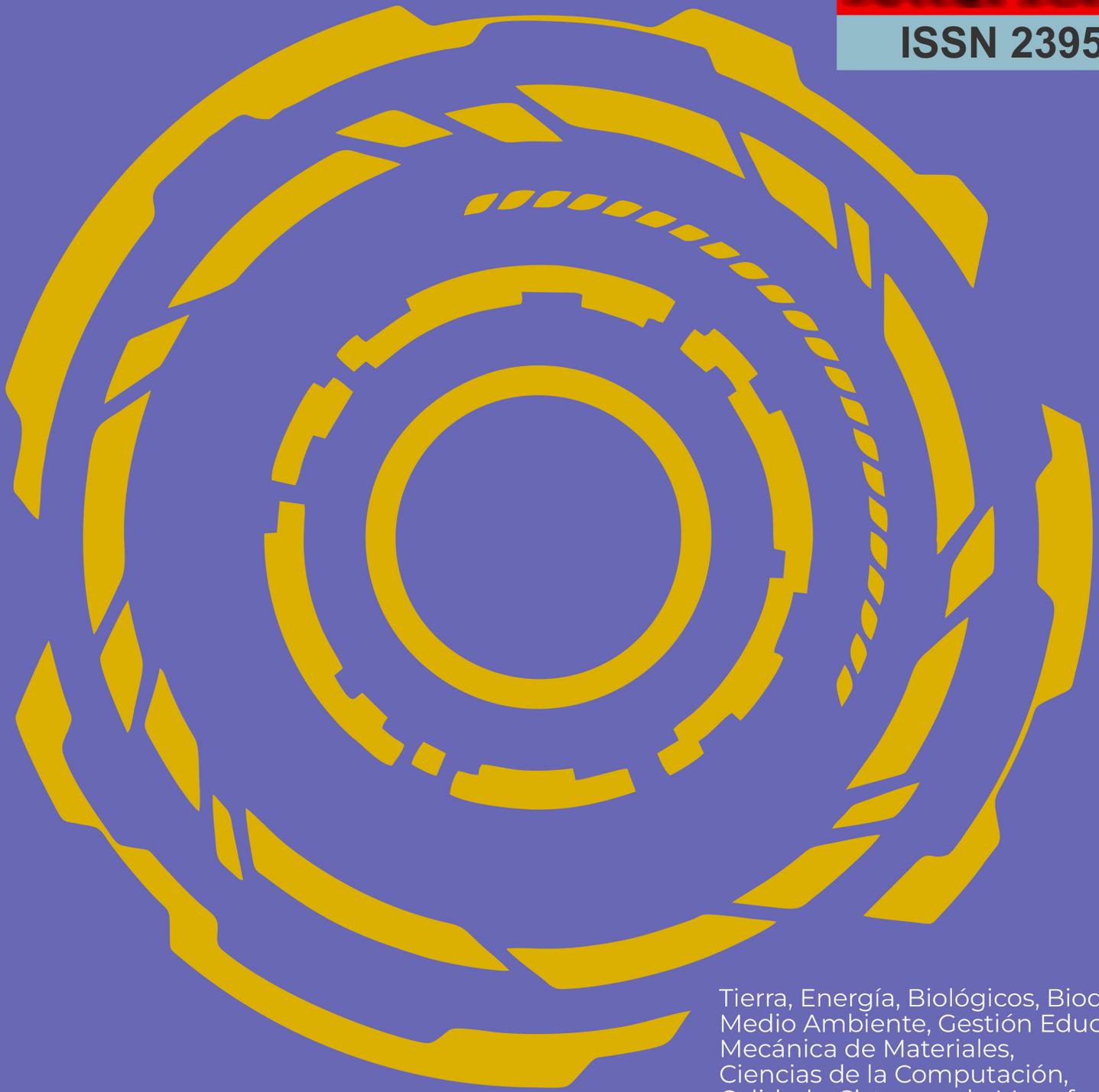
Ingeniantes®

Año 9, No.2, Vol. 1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

latindex

ISSN 2395-9452



Tierra, Energía, Biológicos, Bioquímica,
Medio Ambiente, Gestión Educativa,
Mecánica de Materiales,
Ciencias de la Computación,
Calidad y Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Año 9 / No. 2/ Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, Año 9, No. 2 Vol 1. Mayo 2022, Diciembre 2022 - es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web citt.itsm.edu.mx. Editor responsable: Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas, Km. 1.8 carretera a Loma del Cojolite, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93850, fecha de última modificación, 15 de diciembre de 2022

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 22843.

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 Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a stylized, lowercase serif font. The letters are primarily a dark red color. The letter 'i' is unique, with a vertical stem in orange and a circular dot in yellow. The letters 'l', 'n', 'd', and 'x' have thin horizontal lines extending from their bases, giving the logo a modern, architectural feel.

Diciembre 2022

Directorio

Mtro. Jorge Alberto Lara Gómez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Dr. Arturo Olguin Hernández

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

Ing. Roberto Carlos Cabrera Jiménez

Subdirector Académico, ITSM, Veracruz, México

Dra. María Cristina López Méndez

Subdirectora de Posgrado, ITSM, Veracruz, México

Lic. Rosa María Hernández Ramírez

Subdirectora de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Lic. Julio Cesar Rosas Cruz

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Lic. Adriana López Trujillo

Subdirectora de Planeación, ITSM, Veracruz, México

L.I. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Cuerpo Editorial

Editor General

Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Editor

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Coeditor

Lic. Erik Balderas González

Administración

Ing. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología

Lic. Jorge Obdulio Gerón Borjas

Sistemas

Administrador de Sistemas

M.S.C. Fernando Alberto Hernández Guevara

Webmaster

L.I. Ana Marcela Gutiérrez Romero

Distribución

Publicación electrónica disponible en

ciff.itsm.edu.mx/ingeniantes

Correo electrónico:

revista.ingeniantes@itsm.edu.mx

<https://latindex.org/latindex/ficha/22843>

Comité de Revisión

Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US	SNI
Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH	SNI
Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET	SNI
Dr. Abel García Barrientos, UASLP	SNI
Dr. David Lara Alabazares, ITSM	SNI
Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM	SNI
Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ	SNI
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON	SNI
Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET	SNI
Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET	SNI
Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ	SNI
Dr. José Luis Marín Muñiz, CV	SNI
Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT	SNI
Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM	SNI
Dra. María Cristina López Méndez, ITSM	SNI
Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM	SNI
Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ	SNI
Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET	SNI
Dr. Juan Carlos González Hernández, ITM	SNI
Dra. Laura Ruelas Monjardín, UV	SNI
Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNA	SNI
Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV	SNI
Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles, CENIDET	SNI
Dr. Jesús Álvarez Cedillo, IPN	SNI
Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT	SNI
Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON	SNI
Dr. Daniel Martínez Navarrete, ITSAV	SNI
Dr. Luis Mejía Macario, ITSM	C. SNI
Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA	
Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN	
Dr. Irahán Otoniel José Guzmán, ITSM	
Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH	
Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP	
Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia, UV	
Dr. Ramón Álvarez López, UDG	
Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM	
Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM	
Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM	
Dr. Isidro Rodríguez Montoro, ITSM	
Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM	
Dra. Alicia Martínez Rebollar, CENIDET	
Dr. Luis Enrique García Santamaría, ITSM	
Dr. Humberto Raymundo Gonzalez Moreno, ITSM	
Dr. Alan Rico Barragán, ITSM	
M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI	
M.C. Clovis Nchikou, ITNL	
M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR	
M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR	
M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV	
M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV	
M.S.I. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM	
M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM	
M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM	
M.C. Vladimir Zagoya Juarez, ITSM	
M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM	
M.I.I. Giovanni Luna Chontal, ITSM	

Ingeniantes



03



11



18



24



31



36

El péndulo simple como propuesta didáctica para integrar teoría y práctica del diseño de experimentos en el aula de clase _____ 03

Gabriel Grosskelwing Núñez; Esmeralda Anahí Martínez Carabarin; Dalia Johana Arieta de los Santos; Heidi Anabel Jácome Sánchez; Arturo Cabrera Hernández, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

DMAIC para la reducción en costos de última milla en la empresa de alimentos Qualtia _ 11

María Elena Maceda Rodríguez, TecNM campus Veracruz; Rodolfo López Arroyo, Universidad Tecmilenio

Evaluación de la paradoja de la elección mediante neuromarketing experimental en consumidores de comida rápida _____ 18

María Luisa Córdoba Tlaxcalteco; Alejandro del Rey Torres Rodríguez; Luis Manuel Siliceo Verónica; María Guadalupe Montes De Oca Sánchez, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Efecto del estiércol y yeso agrícola sobre el rendimiento y composición química del maíz forrajero (*Zea mays*) _____ 24

Rocío Aidé Carrasco Rubio; Manuel Ismael Mata Escobedo, Tecnológico Nacional de México / Campus Valle del Guadiana Esperanza Herrera Torres, Universidad Juárez del Estado de Durango; Darío Cisneros Arreola; Merit Cisneros González, Tecnológico Nacional de México / Campus Valle del Guadiana

Análisis bromatológico de la carne Pez Diablo *Hypostomus plecostomus*, para su aprovechamiento _____ 31

Zaragoza - Villela Eder; Ruíz - Carrión Santa Ines; García - Magaña Hector; Lucho - Constantino Gonzalo Guillermo, Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carraza

Efecto de metales pesados sobre la germinación de las semillas de Chumpipe (*Gonolobus niger*) _____ 36

Jesús Bello Palomino; Gabriel Grosskelwing Núñez; Rubén Enrique Cuevas Alarcon; Luis Mejía Macario; Arturo Cabrera Hernández, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Contenido



44



51



57



65



72

Sensor para medir pH en suelos: implementación de un ADC con STM32 _____ 44
David Orlando Romero Soto; Merit Cisneros González; Darío Cisneros Arreola; Manuel Ismael Mafa Escobedo; Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana; Marco Antonio Arjona López; Instituto Tecnológico de La Laguna

Análisis de aleaciones comerciales en la fabricación de rines de la industria automotriz _ 51
Verónica Elvira Salazar-Muñoz; Diana Leticia Espericueta-Gonzalez; Jose Francisco Ibarra-Sánchez; María Magdalena Montserrat Contreras, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí

Diseño y construcción de patín eléctrico tripulado, utilizado para transporte de herramientas en las empresas _____ 57
Francisco Miguel Hernández López; Jorge Alberto Cárdenas Magaña; Marco Antonio Celis Crisóstomo; Emmanuel Vega Negrete; Guadalupe Ruiz Ibarra, Tecnológico Nacional de México / ITJMMPH Unidad Académica Tamazula

Usos actuales y tendencias del estropajo vegetal *Luffa cylindrica* L. en sectores industriales y comerciales _____ 65
Marieli Lavoignet Ruiz; Margarito Landa Zárate; Luis Enrique García Santamaría, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Mianztlá; César Argüelles López, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre; Ligia Herrera Franco, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado

Desarrollo e implementación de un sistema de información web para el programa federal de la SEP "RENOES" (rol administrador) _____ 72
Jesús Gómez Urbano; Jorge Carranza Gómez; Luis Ramos Baños; Rafael Hernández Reyna, Instituto Tecnológico Superior de Acapulco



Gestión

Educativa

Ingeniantes

El péndulo simple como propuesta didáctica para integrar teoría y práctica del diseño de experimentos en el aula de clase

RESUMEN: Los nuevos modelos educativos exigen la integración de la teoría con la práctica experimental, sin embargo los serios rezagos en infraestructura escolar no permiten contar con espacios físicos para este fin.

En el presente trabajo se propone emplear el péndulo simple como un modelo viable, de bajo costo, reproducible y que no requiere instalaciones especializadas para ejemplificar la planificación de la investigación de una manera teórico-experimental apoyado en un plan racional que brinda la metodología del diseño de experimento y la estadística inferencial.

Alineados al esquema propuesto por Montgomery, presentamos un protocolo que permite establecer las variables de longitud de cuerda como factor de tratamiento, masa y ángulo del péndulo, como factores de bloque, en un diseño de experimentos por bloques al azar en unidades divididas y como variable de respuesta el tiempo promedio del periodo. La propuesta didáctica mostró buena aceptación y un avance significativo en la asimilación del conocimiento para la materia de DOE en alumnos matriculados en materias que requieren este tipo de herramientas estadísticas. Se demostró la utilidad del péndulo simple como un modelo para unir el puente entre teoría y práctica en escuelas que no cuenten con un laboratorio especializado.

PALABRAS CLAVE: Péndulo, periodo, diseño de experimentos, bloques al azar en unidades divididas.



Colaboración

Gabriel Grosskelwing Núñez; Esmeralda Anahí Martínez Carabarán; Dalia Johana Arieta de los Santos; Heidi Anabel Jácome Sánchez; Arturo Cabrera Hernández, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2022

Fecha de aceptación: 25 de noviembre del 2022

ABSTRACT: The new educational models require the integration of theory with experimental practice, however, the serious lags in school infrastructure do not allow having physical spaces for this purpose.

In the present work, it is proposed to use the simple pendulum as a viable, low-cost, reproducible model that does not require specialized facilities to exemplify the planning of the investigation in a theoretical-experimental way supported by a rational plan that provides the design methodology of experiment and inferential statistics.

Aligned to the scheme proposed by Montgomery, we present a protocol that allows to establish the variables of chord length as treatment factor, mass and angle of the pendulum, as block factors, in a design of experiments by randomized blocks in divided units and as variable of response the average time of the period. The didactic proposal showed good acceptance and a significant advance in the assimilation of knowledge for the DOE subject in students enrolled in subjects that require this type of statistical tools. The usefulness of the simple pendulum was demonstrated as a model to bridge the gap between theory and practice in schools that do not have a specialized laboratory.

KEYWORDS: Pendulum, period, design of experiments, random blocks in divided units.

INTRODUCCIÓN

Los modelos docentes actuales promueven la búsqueda de escenarios de aprendizaje que combinen estrategias y técnicas para eficientar el proceso de enseñanza. Uno de tales escenarios es el laboratorio experimental de ciencias, un espacio para el desarrollo de habilidades y destrezas en diferentes áreas, mien-

tras que se desarrollan la imaginación, creatividad y el espíritu de investigación, al permitir que se visualice y experimente bajo condiciones ambientales controladas y normalizadas los conceptos aprendidos en el aula de clase [1]. Para cumplir su objetivo, un laboratorio requiere de materiales, medios e instalaciones adecuadas para su correcto funcionamiento, además de una logística educativa que permita una asociación entre la teoría que se enseña en el aula de clase y el trabajo práctico de laboratorio [2].

Es claro que la actividad experimental potencia la enseñanza cuando se tienen todos los elementos que permitan las mínimas condiciones para un óptimo aprendizaje, un escenario poco común en países en vías de desarrollo [3]. En México, de acuerdo al Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE), existen severas deficiencias en infraestructura escolar. Por ejemplo, se estima que a nivel nacional, para el nivel preescolar y primaria, no existen laboratorios de ciencias, mientras que solo el 24% de escuelas secundarias y el 59.5% de bachilleratos cuenta con éste [4]. Esta situación se agrava para las escuelas indígenas y comunitarias [5]. Lo anterior no permite en el alumno el pleno desarrollo de capacidades, habilidades y destrezas, así como la actitud de indagación, curiosidad y reflexión en etapas intermedias de formación académica que reafirmen sus conocimientos y que podrían despertar una inicial vocación científica. [6,7]

En el Instituto Tecnológico Superior de Misantla se reportan índices de reprobación de alrededor del 17% en lo general (Figura 1). Se observa un patrón de reprobación similar en los últimos cinco años, con un incremento significativo para los periodos 2020 y 2021.

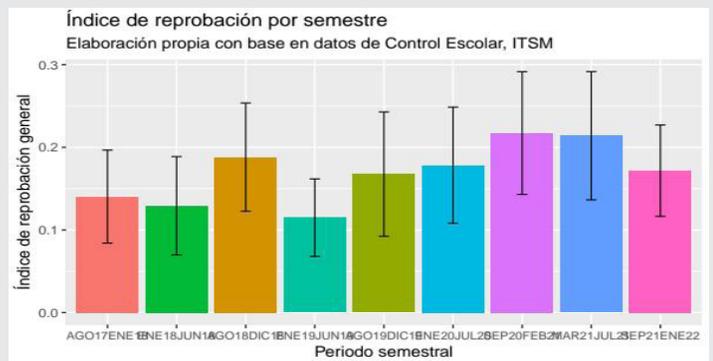


Figura 1.- Índice de reprobación por semestre del año 2017 a 2021 en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Fuente propia.

En el caso particular de la materia de DOE, el índice de reprobación oscila alrededor del 13% (Figura 2) lo cual evidencia la dificultad del alumno para asimilar conceptos estadísticos básicos.

Diferentes esfuerzos se han realizado para enfrentar esta problemática. La creación de laboratorios virtuales es una alternativa viable y económica que permite visualizar en plataformas digitales cambios en las varia-

bles del modelo en estudio y observar la respuesta de salida ha sido una solución exitosa [8]; sin embargo, el rezago en el acceso a internet limita su aplicación. Se estima que aproximadamente el 62.8 % de escuelas en México carecen de este servicio.

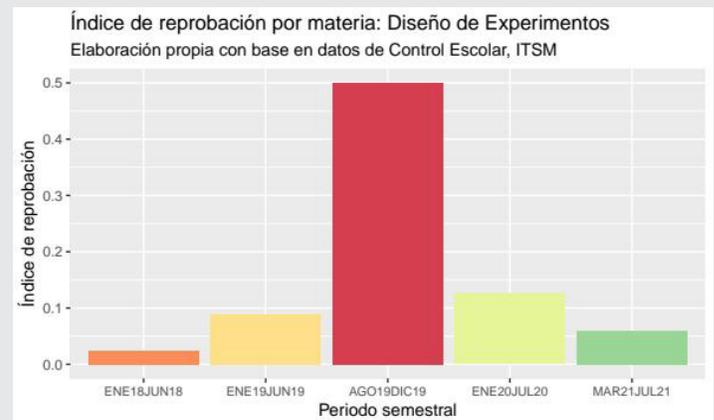


Figura 2.- Índice de reprobación por semestre para la materia Diseño de Experimentos del año 2017 a 2021, en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Fuente propia.

Otra alternativa es la búsqueda de modelos de aprendizaje que transformen el aula de clase en escenarios de aprendizaje que emulen un laboratorio de ciencias. Para ello los modelos experimentales deberán ser seguros, de bajo costo, reproducibles, elaborados con materiales de fácil adquisición y desarrollados en un tiempo razonablemente corto, pero que reúnan los estándares didácticos para reconocer la importancia de tener un orden lógico de pasos en la experimentación, así como aprender a elaborar hipótesis, discriminar las variables del experimento y realizar el análisis e interpretación de datos obtenidos de acuerdo a una metodología estructurada; de esta forma los conceptos y principios del diseño de experimentos saldrían del libro de texto al medio ambiente físico del alumno, a fin de unir la fractura establecida entre teoría y práctica experimental [9].

Con un modelo experimental sencillo y reproducible, Antony, J. aplica una estrategia de enseñanza del diseño de experimentos en ingeniería para optimizar el funcionamiento de una catapulta [9]. Posteriormente, Izquierdo I. et al., emplea el mismo modelo y lo estudia bajo el esquema propuesto por Montgomery como un ejemplo didáctico aplicado de diseño de experimentos [10].

El presente proyecto propone emplear al péndulo como herramienta didáctica para instruir al alumno en el diseño de experimentos. Si bien, el péndulo ha sido una herramienta educativa común en laboratorios de física, la perspectiva de este proyecto integra el diseño de experimentos para variables fácilmente modificables y establece como variable respuesta el periodo de oscilación, elemento clave en el cálculo de la constante de la gravedad. Con este modelo creamos un espacio di-

dáctico teórico-experimental a bajo costo y plenamente validado, ideal para escuelas que no cuenten con un laboratorio de ciencias.

MATERIAL Y MÉTODOS

Construcción del péndulo

El péndulo simple se construyó siguiendo protocolos previamente establecidos y validados [11, 12]. Dos masas de 150 y 300 gramos fueron atadas en la parte central con el extremo de una cuerda y el otro extremo de la cuerda con longitud predeterminada, se sujetó al punto de unión en un sitio alto del aula de clases, como se muestra en la Figura 1. De esta forma, la longitud de la cuerda del péndulo puede ser modificada y ajustada a la longitud solicitada por el diseño experimental. El péndulo fue colocado manualmente en la posición inicial de oscilación con un ángulo de 10° o 35° . Para asegurar la validez científica de los datos a obtener, el orden en que se efectuaron los experimentos fue al azar. El tiempo de duración del periodo de oscilación fue tomado de forma visual-manual con ayuda del cronómetro de un teléfono celular. Se contabilizó el tiempo de 10 oscilaciones para minimizar errores asociados al tiempo de reacción visual-manual. Posteriormente, cada dato se dividió entre 10, se elevó al cuadrado y fue el reportado para la duración del periodo a las condiciones de las variables establecidas.

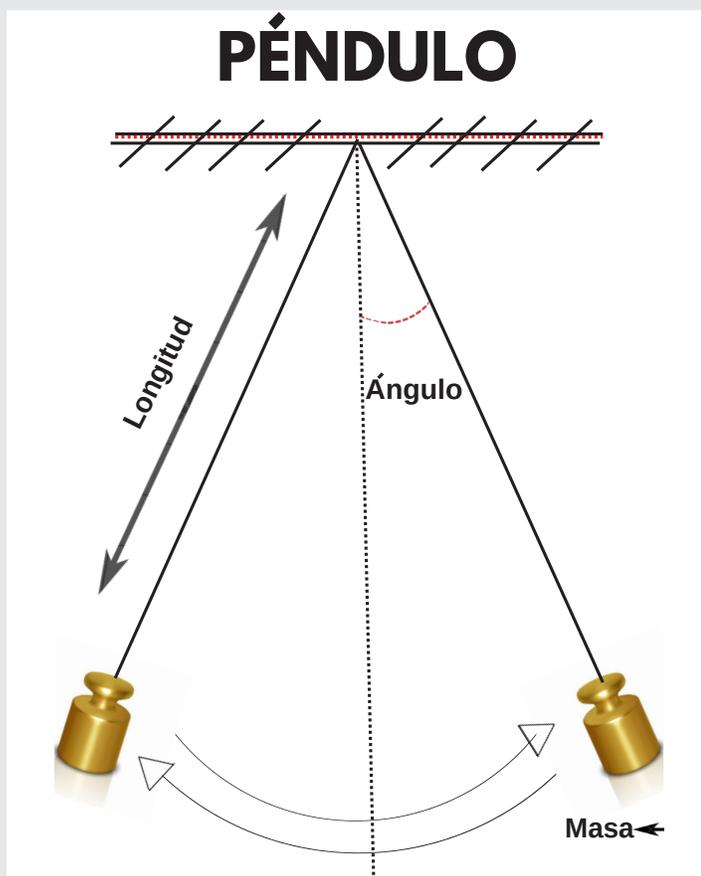


Figura 3.- Representación gráfica de un péndulo simple. Se señalan las tres variables a considerar en el diseño de experimentos, longitud de cuerda, ángulo de oscilación y masa.

Planificación del diseño de experimentos

Para cumplir el carácter didáctico de este proyecto, por su sencillez y claridad, se siguieron las etapas propuestas por Montgomery para el presente diseño de experimentos [13]. Cada una de ellas se desglosa a continuación:

1. Reconocimiento del problema. Escribir en la pizarra el problema propuesto de manera clara y concisa "Establecer los factores que intervienen durante el funcionamiento de un péndulo".

2. Elección de los factores y niveles. Con apoyo de un esquema del péndulo, promover entre los alumnos una lluvia de ideas sobre los factores que influyen en el funcionamiento del péndulo. Anotar en el pizarrón cada sugerencia. Promover la discusión grupal para establecer qué sugerencia puede ser considerada variable. Clasificar como variables primarias aquellas que serán modificados en la experimentación, variables constantes las que no son de interés en el experimento y serán mantenidos constantes, y variables molestas aquellas que presenten complicación en mantenerlas constantes. Para este proyecto, las variables seleccionadas fueron longitud del péndulo, masa oscilante y el ángulo de oscilación.

En base a protocolos publicados previamente, se establecieron los niveles para cada variables, dos para la masa, B1 (150 g) y B2 (300 g) y dos para el ángulo de oscilación, ángulo A1 (10°) y ángulo A2 (35°). Para la variable longitud se establecieron 5 niveles C1, C2, C3, C4 y C5 (60, 70, 80, 90 y 100 cm). Se propuso el análisis por con tres replicas para cada combinación dada [14].

3. Selección de la variable de respuesta. La variable de respuesta se estableció en base al respaldo bibliográfico de múltiples protocolos que han estudiado el movimiento del péndulo, estableciéndose como variable respuesta el tiempo de duración de un periodo.

4. Elección del diseño experimental. En base a la relación que existe entre la variable respuesta y los factores analizados reportada en la bibliografía, se propuso el diseño experimental de bloques al azar en unidades divididas, para evaluar cuales de las variables propuestas influyen sobre la variable respuesta. Este diseño experimental es sencillo dado que no considera las interacciones entre los factores de tratamiento y las de bloque, por lo que, se podría considerar a éste como un experimento de un solo factor (longitud de la cuerda), debido a que el experimentador distribuye los niveles del factor de tratamiento de acuerdo a criterios que él selecciona de manera arbitraria dentro de los factores de bloque, lo cual permite verificar si una variable considerada de ruido, tiene alguna clase de influencia sobre el efecto debido a los cambios en los niveles del factor de tratamiento. Este enfoque permitió llegar a conclusiones similares a la física [15].

Inicialmente se propuso aplicar el diseño factorial, sin embargo, se encontró después de varias repeticiones del experimento, que la variable masa presenta un comportamiento de variable confusa, arrojando una asociación espúrea con el periodo y conclusiones opuestas a las reportadas en la literatura. El empleo del modelo de bloques al azar en unidades divididas permitió el control del sesgo de confusión [16].

Tabla 1. Puntos muestrales de las tres variables evaluadas.

N.º	Angulo	Masa	Longitud
1	A1	B1	C1
2	A2	B1	C1
3	A1	B2	C1
4	A2	B2	C1
5	A1	B1	C2
6	A2	B1	C2
7	A1	B2	C2
8	A2	B2	C2
9	A1	B1	C3
10	A2	B1	C3
11	A1	B2	C3
12	A2	B2	C3
13	A1	B1	C4
14	A2	B1	C4
15	A1	B2	C4
16	A2	B2	C4
17	A1	B1	C5
18	A2	B1	C5
19	A1	B2	C5
20	A2	B2	C5

5. Realización de los experimentos. Dado que el modelo del péndulo puede ser efectuado en aulas y salones de clase, seleccionar grupos de tres personas para realizar los experimentos de acuerdo al protocolo propuesto. Distribuir las tareas de forma que la primera persona sujetará la cuerda a la masa y al punto de soporte, la segunda se encargue de medir la longitud del péndulo, y una tercera persona tomará la masa del péndulo y la ubicará en la posición inicial con el ángulo adecuado. Al soltar la masa, iniciará el movimiento periódico del péndulo.

Realizar un total de 60 experimentos bajo los principios del diseño de experimentos, aleatoriedad, reproducibilidad de réplicas, y bloqueo. En la Tabla 1 se presenta el arreglo sugerido por el diseño experimental. Para que el orden de los 60 experimentos sea completamente al azar, aplicar un muestreo aleatorio simple. Con ayuda del cronómetro de un teléfono celular, tomar el tiempo que tardan diez oscilaciones completas. Dividir este valor entre diez y anotar en el espacio correspondiente en la Tabla de registro de datos.

6. Análisis de datos. Capturar los datos empleando la Hoja de Cálculo del software LibreOffice de acuerdo al esquema del diseño por bloques y realizar el análisis de datos con un software de elección. Con los valo-

res de P obtenidos, interpretar y definir cuáles de ellas afectan el periodo de un péndulo. En el presente proyecto el tamizado de datos, las pruebas de normalidad y homocedasticidad así como la prueba ANOVA para factores individuales e interacciones se realizó empleando el software de libre acceso R Project versión 4.2.1 mediante el IDE R Studio versión 2022.07.0, en un equipo de cómputo HP con procesador AMD E1-6010 APU con AMD Radeon R2 Graphics, memoria RAM de 8 GB, con sistema operativo Linux Mint 20.3 Cinnamon.

7. Conclusiones y recomendaciones. Dado que el comportamiento del péndulo y la naturaleza de las oscilaciones han sido plenamente estudiadas a través de una ecuación que permite el cálculo de la constante de gravedad [11, 12] es factible verificar si se han cumplido los objetivos propuestos en el diseño experimental, al comparar las conclusiones obtenidas por diseño de experimentos, con la metodología tradicional empleada en laboratorios de física de análisis por regresión lineal de los puntos experimentales obtenidos aplicando la ecuación del péndulo simple.

Evaluación de la propuesta didáctica en el aula de clases.

Se procedió a evaluar el valor pedagógico de la propuesta y su aceptación en alumnos que actualmente están matriculados en materias que requieren este tipo de herramientas estadísticas. A grupos de estudiantes en su último año de formación a nivel licenciatura de la carrera de Ingeniería Bioquímica, se les aplico un formulario para evaluar sus impresiones así como el aprendizaje previo y posterior al desarrollo de la práctica. El formulario fue electrónico y anónimo empleando el software de Google forms. Los resultados fueron analizados por prueba t-pareada de dos colas ($p=0.05$).

RESULTADOS

El modelo del péndulo permitió aplicar la metodología de diseño de experimentos, siguiendo los pasos propuestos por Montgomery [10, 13]. Inicialmente, el problema planteado a un grupo de 30 estudiantes fue determinar los factores que pueden influir en la duración del periodo de un péndulo simple. Bajo el esquema de lluvia de ideas, se propusieron 11 potenciales factores involucrados en el problema. (la gravedad, masa del objeto, corrientes de aire, tipo de hilo, punto donde se colgará el hilo, elasticidad del hilo, fuerza para impulsar el péndulo, presencia de aire, longitud del péndulo, forma del objeto, material con que se elaboró el objeto y ángulo del péndulo). Los factores fueron clasificados de acuerdo a los criterios previamente descritos.

Las variables primarias fueron masa del objeto, longitud del péndulo y ángulo del péndulo, las variables mantenidas constantes fueron gravedad, corrientes de aire, tipo de hilo, punto donde se colgara el hilo, elasticidad del hilo, presencia de aire, forma del objeto y material con que se elaboro el objeto y la variable molesta fue

la fuerza para impulsar el péndulo. Apoyados en los estudios publicados sobre mecánica del péndulo, se propusieron dos niveles para el factor de bloque, para el ángulo 10°(A1) y 35°(A2), para la masa del objeto 150g (B1) y 300g (B2) y 5 niveles para el factor de tratamiento, longitud de péndulo [60 (C1), 70(C2), 80(C3), 90(C4) y 100(C5) cm]; con un número de replicas de tres (n), y un número total de experimentos de 60(N=AxBxCxN). Los puntos muestrales se presentan en la Tabla 1.

Bajo el esquema del diseño experimental de bloques al azar en unidades divididas se derivan 3 objetivos específicos y 3 hipótesis de trabajo para las variables individuales (a, b y c). Para la variable ángulo se define la hipótesis nula ($\mu_{a1}=\mu_{a2}$) y alterna ($\mu_{a1}\neq\mu_{a2}$), para la variable masa se define la hipótesis nula ($\mu_{b1}=\mu_{b2}$) y la alterna ($\mu_{b1}\neq\mu_{b2}$) y para la variable longitud su hipótesis nula ($\mu_{c1}=\mu_{c2}=\mu_{c3}=\mu_{c4}=\mu_{c5}$) y la alterna ($\mu_{c1}\neq\mu_{c2}\neq\mu_{c3}\neq\mu_{c4}\neq\mu_{c5}$). Una explicación detallada se presenta en el sitio web <http://rpubs.com/Gabo6381/958652>.

La obtención de datos fue individual con un tiempo total de 90 minutos. El acopio de datos se realizó empleando la Hoja de Cálculo del software LibreOffice, en las columnas se ubicaron las variables a1(b1 ; b2) y a2(b1 ; b2), mientras que en las filas la variable c (c1;c2;-c3;c4;c5). A fin de visualizar el comportamiento de los datos y detectar si existen datos atípicos, se construyeron diagramas de caja y bigotes para los periodos de las tres replicas de cada una de las 20 combinaciones, empleando el software libre R-Project versión 4.2.1 mediante el IDE R Studio versión 2022.07.0, así como los valores del periodo por factor agrupado (Figura 4).

Como se observa, los datos presentan simetría y no se detecta la presencia de datos atípicos, lo cual da confiabilidad al análisis estadístico posterior.

En algunos experimentos se reportaron errores asociados a una mala perspectiva del estudiante con respecto al péndulo o a una equivocación en el número de oscilaciones, que ocasionó lecturas de 9 o 11 de estas. En caso de observar un comportamiento asimétrico o si existen datos atípicos, se sugiere repetir el experimento.

Con los datos tamizados se realizó una gráfica de probabilidad normal Figura 5 inciso a) además de la prueba de Shapiro-Wilks para verificar el ajuste de los residuos a la distribución normal con media cero, ambas coinciden en reforzar la hipótesis del ajuste hacia esa distribución, se corrió también la prueba de Durbin-Watson, para probar la existencia de autocorrelación en los residuales.

La evidencia muestral de Durbin-Watson mostró nula autocorrelación entre residuales, dejando sólida la hipótesis de independencia, y la prueba de Levene para homogeneidad de varianza, en donde la evidencia muestral mostró que las varianzas son homogéneas. A fin de observar el comportamiento de los residuales estándar para cada factor se construyeron las gráficas de caja y bigote correspondientes Figura 5 inciso b), c) y d). El análisis detallado con datos reales es presentado en <http://rpubs.com/Gabo6381/958652>.

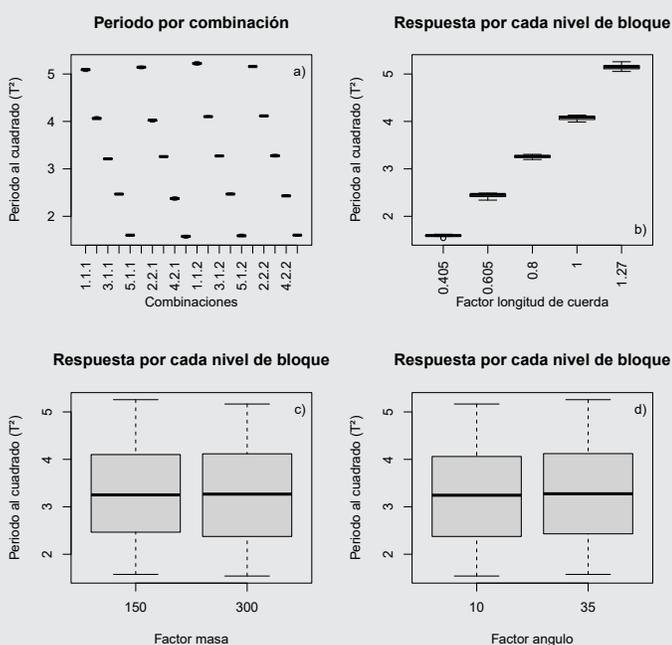


Figura 4.- Valores del periodo por combinación y factor agrupado. Se presenta el comportamiento de los valores de periodo para las diferentes combinaciones propuestas (a) así como para el factor longitud de cuerda (b), masa (c) y ángulo (d).

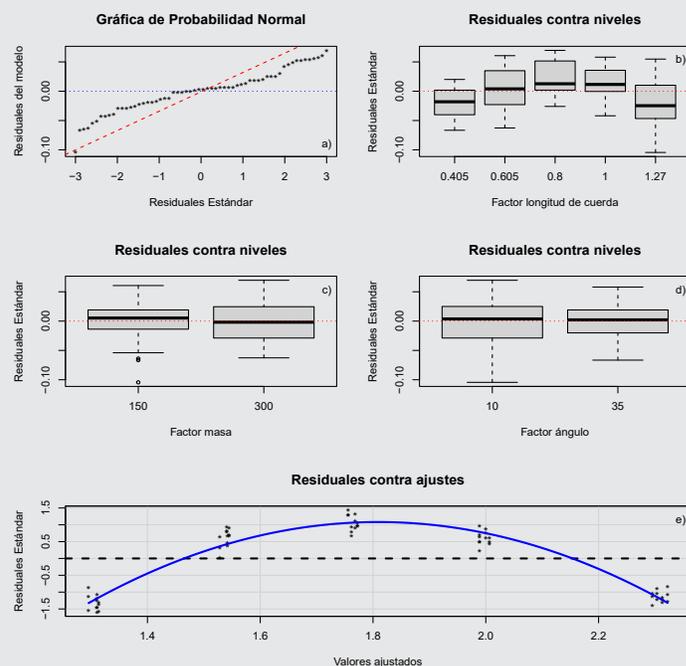


Figura 5. Comportamiento de los residuales estándar para cada factor. Se presentan las gráficas de normalidad (a) así como para residuales en diagrama de caja y bigote para longitud de cuerda (b), masa (c) y ángulo (d).

Un cuadro resumen de los valores de significación de la prueba ANOVA, se muestra en la Tabla 2. Se observan valores menores a 0.05 en las variables de ángulo (a) y longitud (c) lo cual apoya la hipótesis alterna que implica diferencias significativas entre los diferentes niveles de ambas variables y establece un efecto real de la longitud y el ángulo del péndulo sobre el tiempo del periodo. En contraste, para la variable masa (b) los valores de p fueron mayores de 0.05 y apoya la hipótesis nula, sin diferencias significativas entre los niveles de la variable lo cual descarta a la masa como factor que influye en la duración del periodo de un péndulo.

Tabla 2. Resultados de la tabla ANOVA para efectos de la variable de respuesta Periodo al cuadrado.

Predictor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor_p
Intersección	88.49	1	88.49	14396.67	.000
Factor Longitud de cuerda	92.02	1	92.02	14971.30	.000*
Factor masa	0.00	1	0.00	0.66	.421
Factor ángulo	0.03	1	0.03	4.96	.030*
Error	0.34	56	0.01		

Las conclusiones obtenidas con el presente modelo se ajustan bien a las reportadas en innumerables estudios que se han hecho sobre el tema desde la perspectiva del estudio del movimiento armónico, en donde la longitud esta considerada como una variable en la ecuación que describe el comportamiento de un péndulo:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{Ec. 1}$$

donde T es el periodo, l es la longitud del péndulo y g es la constante de gravedad.

Esta ecuación corrobora que la única variable que influye en la duración del periodo de un péndulo es la longitud y es valida para ángulos de péndulo menores a 10° , donde se cumple que el valor del seno del ángulo es aproximadamente igual al valor del ángulo, consideración inicial para el desarrollo de esta ecuación y que restringe su uso, ya que para ángulos mayores la ecuación debe modificarse.

En la Figura 6 se presenta el comportamiento lineal de los gráficos del cuadrado de los valores del periodo (T^2) del péndulo en función de la longitud del péndulo (l), para los dos ángulos evaluados. Al aplicar regresión lineal se obtienen ecuaciones para el promedio de cada set de datos, que representan una línea recta. Tales ecuaciones corresponden a la ecuación.

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \quad \text{Ec. 2}$$

donde $(4\pi^2)/g$ corresponde a la pendiente de la recta y l es la variable independiente. Con coeficientes de determinación de 1, podemos afirmar que el protocolo propuesto se aplicó de manera correcta. En base a los valores de la pendiente es posible estimar la constante de gravedad " g ". Los valores obtenidos fueron de 9.66 y 9.70 m/seg²; valores muy cercanos a la cons-

tante de gravedad (9.8 m/seg²). En ambas ecuaciones el valor de la ordenada al origen fue cercano a cero, este valor esta relacionado a la correcta determinación de la longitud del péndulo, la cual inicia en el centro de gravedad de la masa, por lo tanto los valores de los centros de gravedad de cada masa fue determinada de manera aceptable.

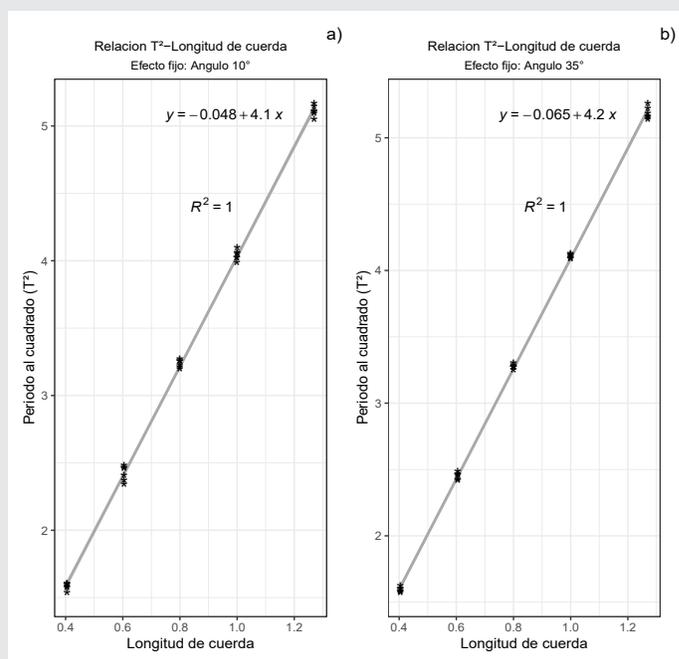


Figura 6. Análisis por regresión lineal de la variable respuesta periodo al cuadrado en función de la longitud de cuerda para un ángulo de 10° (a) y 35° (b), se presenta la ecuación y el valor del coeficiente de regresión lineal.

Para cuantificar el valor pedagógico de esta propuesta se empleó un formulario con preguntas sobre el conocimiento previo y posterior del tema, así también sobre las impresiones de la propuesta didáctica en el alumno. En general la impresión fue positiva; con porcentajes superiores al 80% para aspectos sobre disfrutar la realización del experimento, recomendar su aplicación e incluirlo como parte del curso de Química Analítica, calificar el experimento como activo y si se obtuvo un aprendizaje real y positivo. Con respecto a este último punto, un análisis con prueba t-pareada de dos colas ($p=0.05$) mostró diferencia significativa en el porcentaje de aciertos a las 10 preguntas de conocimientos sobre el tema antes y después de la práctica, con un valor promedio inicial de 45 hasta alcanzar un valor de 82.

Lo anterior sugiere que esta propuesta didáctica es una herramienta viable para incrementar la eficiencia del aprendizaje en el área del diseño de experimentos [17].

CONCLUSIONES

El péndulo simple demostró ser un modelo robusto y reproducible, aplicable al grado de extensión y profundidad que requiere los niveles superior e ingeniería, familiarizando al alumno con el tamizaje de variables,

un aspecto importante del DOE con un modelo atractivo que fusiona teoría y práctica así como promueve el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, abstracto y estratégico. El éxito de esta propuesta didáctica permite ver áreas de oportunidad para desarrollar prácticas homologas para el aprendizaje teorico-práctico del DOE.

En esta práctica, las variables longitud y ángulo del péndulo se categorizaron como verdaderas variables con niveles de confianza del 95%, mientras la masa demostró no ser variable del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Cuaical, D. L. C., & Caicedo, D. M. C. (2017). *Influencia de los escenarios pedagógicos: aula de clase y laboratorio en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales*. *Revista Historia de la Educación Colombiana*, 20(20), 65-90.

[2] Flores, J., Caballero Sahelices, M. C., & Moreira, M. A. (2009). *El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje*. *Revista de investigación*, 33(68), 75-111.

[3] Yoldere, H. M., & Adamu, M. (2014). *The challenges facing science education in developing countries and the way forward*. *International Journal of Scientific Engineering and Study*, 3(11), 2347-3878.

[4] Escudero, E. B. (2018). *Breve caracterización del sistema educativo mexicano*. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*, 48(1), 35-52.

[5] México. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (2016) *Políticas para fortalecer la infraestructura escolar en México*. Documentos ejecutivos de política educativa. <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/02/Documento5-infraestructura.pdf>

[6] Gödek, Y. (2004). *The development of science education in developing countries*. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(1), 1-11.

[7] Tyokumber, E. T. (2010). *Does science education in developing countries really count?*. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 91(4), 432-437.

[8] Noboa, J. E., & Brito, C. P. (2016). *Laboratorios Virtuales: una alternativa para mejorar el rendimiento de los estudiantes y la optimización de recursos económicos*. *INNOVA Research Journal*, 1(11), 91-96.

[9] Antony, J. (2002). "Trainig for Design of Experiments Using a Catapult". *Quality and Reliability Engineering International*, Vol. 18, pp. 29-35.

[9] Izquierdo, L. I., Tanco, M., Viles, E., & Sánchez-Arjona, M. J. Á. (2007). *El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta*. *Tecnura*, 10(20), 127-138.

[11] Matthews, M. R., Gauld, C., & Stinner, A. (2004). *The pendulum: Its place in science, culture and pedagogy*. *Science & Education*, 13(4), 261-277.

[12] Kent-Schneider, I., & Kruse, J. (2020). *Using a Simple Pendulum Investigation to Develop Students' History and Nature of Science Knowledge*. *The Physics Teacher*, 58(9), 628-631.

[13] Montgomery, D. C. (2005). *Design and Analysis of Experiments*. 6 ed, ed. 1. Jolm Wiley & Sonso.

[14] Antony, J., & Capon, N. (1998). *Teaching experimental design techniques to industrial engineers*. *International Journal of Engineering*, 14, 335-343.

[15] João M.I., Silva J.M. (2020). *Design of Experiments in Engineering Education: Opportunities and Challenges*. Carrillo-Cedillo E.G., Rodriguez-Avila J.A., Arredondo-Soto K.C., Cornejo-Bravo J.M. (Ed.), *Design of experiments for chemical, pharmaceutical, food, and industrial applications*. 1ra ed., , pp. 341-361). IGI Global, 701 E. Chocolate Avenue, Hershey, PA 17033-1240, USA,

[16] Quispe, A. M., Alvarez-Valdivia, M. G., & Loli-Guevara, S. (2020). *Metodologías Cuantitativas 2: Sesgo de confusión y cómo controlar un confusor*. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almazor Aguinaga Asenjo*, 13(2), 205-212.

[17] Lugo, J. P., Rossel, Y. O., & Veitía, J. R. (2022). *El pensamiento crítico en el contexto universitario: una vertiente del aprendizaje basado en problemas*. *Warisata-Revista de Educación*, 4(10), 34-54.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

DMAIC para la reducción en costos de última milla en la empresa de alimentos Qualtia



Colaboración

María Elena Maceda Rodríguez, TecNM campus Veracruz; Rodolfo López Arroyo, Universidad Tecmilenio

Fecha de recepción: 25 de mayo de 2022

Fecha de aceptación: 06 de noviembre de 2022

RESUMEN: La presente investigación se realiza en Qualtia, empresa dedicada al ramo de alimentos, ubicada en el Puerto de Veracruz.

Se enfoca en la reducción de gasto en las rutas de última milla, distribución o transportación secundaria (D2, T2) como también se le conoce, incrementando a su vez la productividad en el número de clientes atendidos por ruta, lo que generará ahorros en los costos asociados a la D2, utilizando los mismos recursos.

La metodología se basa en DMAMC (también conocida como DMAIC), así como otras herramientas de uso común dentro de la técnica 6 sigma. Se realizan análisis de datos para después visualizarlos en gráficos, Tablas y matrices, proponiendo mejoras al final de los mismos.

Los resultados obtenidos fueron determinantes para la empresa debido a que se eliminó la práctica de subcontratación de rutas de reparto externas y por consecuencia los gastos adicionales por adquirirlas, \$ 1,938.86 diarios, esto es, \$ 707,683.9 anualmente.

A su vez, se pudieron optimizar los actuales 19 vehículos propios, logrando una productividad por ruta de 4.1 clientes.

PALABRAS CLAVE: DMAMC, distribución, productividad, seis sigma, subcontratación, última milla.

ABSTRACT: The present investigation is applied in Qualtia, a company dedicated to the food industry, located in the Port of Veracruz.

It focuses on reducing spending on last mile routes, distribution or secondary transportation (D2, T2) as it is also known, while increasing productivity in the number of customers served per route, which will generate savings in costs associated with D2, using the same resources.

The methodology is based on DMAIC as well as other commonly used tools within the 6 sigma technique. Data analysis is carried out to later visualize them in graphs, tables and matrices, proposing improvements at the end of them.

The results obtained were decisive for the company due to the fact that the practice of subcontracting external delivery routes was eliminated and, consequently, the additional expenses for acquiring them, \$ 1,938.86 per day, that is, \$ 707,683.9 per year.

In turn, the current 19 own vehicles can be optimized, achieving a productivity per route of 4.1 customers.

KEYWORDS: DMAIC, distribution, productivity, six sigma, outsourcing, last mile.

INTRODUCCIÓN

El trabajo se realizó durante el primer semestre del 2021 en el Centro de distribución (Cedis, CD) de una empresa dedicada al sector alimenticio, ubicado en la Ciudad Industrial del Puerto de Veracruz.

La empresa de alimentos Qualtia, nace en 1972, resultado de la sociedad de un grupo industrial regiomontano. Tras 50 años en el mercado, la empresa ha vivido una serie de cambios en todos los aspectos, desde operativos, de estructura y negocios, incursión en nuevas categorías y creación de unidades de negocio, siempre basados en los valores fundamentales de la compañía y en sintonía con las necesidades del mercado y cliente, entregando productos de calidad en el tiempo y forma que se indique.

Debido a su sector, es una industria altamente demandada en el consumo diario de los clientes, por lo que, la distribución de sus productos debe ser segura y confiable, a través de unidades de reparto que garanticen su entrega.

Las actividades logísticas que tienen lugar entre ciudades, así como en su interior son de vital importancia para el desarrollo económico y social de las comunidades [1].

La última milla, es una gestión de transporte centrado en el último trayecto que ha de realizarse en la entrega final. Esto es, la etapa final de la cadena de distribución de una compañía.

La distribución de última milla, puede ser realizada directamente por el comercio vendedor o por proveedores de servicios de logística, llamados también 3PL (third party logistics) o terceros en logística. De acuerdo a [2], la subcontratación es el acto de trasladar parte de las actividades internas de una empresa y las responsabilidades sobre las decisiones a prestadores externos.

En México, la subcontratación es uno de los fenómenos que se presentan con más frecuencia, derivado de las diferentes reformas aprobadas desde el 2012 [3]. Hoy en día, debido a la última reforma realizada a la Ley Federal de Trabajo y publicada en el Diario Oficial de la Federación en abril del 2021, es necesario que las empresas revisen las adecuaciones realizadas en materia laboral con respecto al tema de las subcontrataciones.

El 28% de los costos totales del transporte de un producto es atribuido al tramo final de la red de suministro [4]. De aquí la importancia en controlar el gasto que se origina en el área de distribución de producto terminado, así como la optimización en el aprovechamiento de los recursos con los que cuenta la empresa.

El Cedis, desde el último semestre del 2020, ha presentado una baja productividad con relación al objetivo definido para la región: 4 clientes por ruta, impactando en gastos de operación incrementales. Actualmente cuentan con 21 camiones o unidades propios dedicados a la última milla, cada uno atiende en promedio 3.6 clientes al día y, por diversas circunstancias en oca-

siones recurren a la tercerización, subcontratando unidades externas de reparto para la distribución de su producto, en promedio 2 unidades extras diarias. Estas unidades extras representan mes con mes, un gasto adicional para la empresa, se estiman alrededor de \$ 707,683.9 anuales.

El presente proyecto tiene como objetivo principal la reducción de costos devengados en la etapa final de la cadena suministro de una empresa de alimentos: la última milla. Al buscar la máxima utilización de unidades propias, se podrá incrementar la productividad de entregas diarias para las rutas T2 en el área de distribución local de la región Veracruz, reduciendo la práctica de subcontratar rutas de apoyo en el reparto de producto terminado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

La metodología a utilizar serán algunas de las herramientas utilizadas dentro de Six Sigma (seis sigma, 6s) y otras herramientas y técnicas para la complementación de análisis y resultados. El tipo de investigación que se desarrolla es aplicada, con recolección de datos a través del uso de la técnica de observación y obtención de bases de datos del sistema de la empresa.

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación [5]. El uso de 6s permite encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, considerando en todo momento clientes y sus necesidades.

La información por sí sola no resuelven los problemas, de aquí la relevancia de utilizar una metodología. En 6s los proyectos de mejora se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAMC, en inglés DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control). En la Figura 1, se puede observar una descripción gráfica de lo contenido en cada etapa de la metodología.

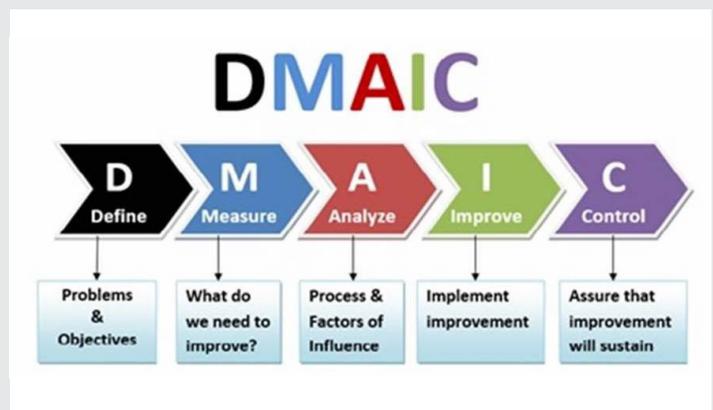


Figura 1. Descripción de etapas DMAIC Tomado de [6]

En un estudio realizado en la India [7], la alta competencia en la industria alimentaria obliga a las empresas a reducir sus costos y aumentar su eficiencia, a través de la combinación de métodos y principios Lean (esbeltos) utilizando el ciclo DMAIC, se realizan esfuerzos para reducir defectos, variaciones de procesos, la estandarización y la reducción de desperdicios.

Con el uso de DMAIC, el presente proyecto se pudo realizar de forma estructurada. A continuación, se describe cada etapa realizada dentro de la investigación.

1) Definir. Se define la problemática de la situación actual, con respecto a la disminución de los costos que se generan en las rutas de reparto en el tramo de la última milla de la compañía al hacer uso del apoyo externo de transporte que ayude en la distribución de los distintos productos que la empresa manufactura. Se proyecta elevar la productividad en la atención de clientes por ruta propia para dejar de usar la tercerización y con ello reducir los costos adicionales generados desde el último semestre del 2020.

Un límite importante a mencionar es, la realización de la investigación sobre las 21 rutas propias con las que cuenta el Cedis de la empresa ubicado en Cd. Industrial, en el Puerto de Veracruz.

Un riesgo destacable es, al implementar la propuesta, no poder concluir las entregas totales o un incremento probable a rechazo y/o reenvío de pedidos de acuerdo al plan de entregas, con lo que tendría un incremento en los gastos de distribución.

2) Medir. Antes de comenzar con la medición, se procedió a elaborar un mapa del proceso, donde se ven involucradas cuatro áreas de la empresa: comercial, mesa de control (administrador de pedidos), distribución y almacén, como se puede observar en la Figura 2.

Podemos distinguir el flujo de los pedidos desde que se levantan por el área comercial, hasta que son cargados en ruta D2 por el almacén.

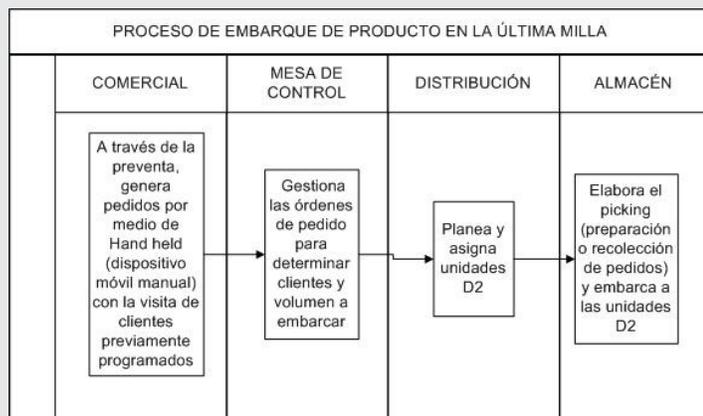


Figura 2. Proceso de embarque de producto en la última milla
Fuente: Autoría propia.

Entendiendo de forma general el proceso de embarque de la mercancía, se realiza el estudio en específico de los personajes que intervienen en él, como los clientes y proveedores internos, de igual forma las variables de entrada y de salida. Para esto se utiliza el método SIPOC (Suppliers - Inputs - Process - Outputs - Costumers, o bien, Proveedores - Entradas - Procesos - Salidas - Clientes), el cual es una metodología sistemática, que se utiliza para comprender el contexto más amplio del diseño y planificación de sistemas de comunicación [8]. [9] propusieron un marco híbrido basado en la integración de herramientas SIPOC y DMAIC para dimensionar y mejorar la gestión de los procesos dentro de una cadena de suministro. Se utilizó un diagrama SIPOC para categorizar cómo varias entidades interactúan con cada proceso. Véase Tabla 1.

Tabla 1. Diagrama SIPOC para la categorización de variables

Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Costumers
	Descripción de entradas	Salidas	Requerimientos	
Lider de Ventas	Pedidos en tiempo	1. Corte de Pedidos a las 18:00 horas	Salida de rutas	Pedidos mayores a 100 Kg Gerente de AS
Recursos Humanos	Pedidos fuera de Frecuencia	2. Asignación de inventarios a pedidos de clientes en sistema	Entrega de producto a clientes	Folios de recibo de cliente Gerente de TR
Proveedor de taller	Unidades Disponibles	3. Corte de pedidos y generación de ordenes de trabajo	Productividad por ruta	Ordenes de compra Dirección de Ventas SE
Auxiliar de Tráfico	Volumen de PT a embarcar	4. Validación de unidades disponibles para ruteo de clientes itinerados en local	Folios de recibo por parte de cliente	Producto terminado en tiempo Lideres de Venta
Almacén de PT	Ruteo en sistema	5. Validación de unidades disponibles para ruteo de clientes itinerados en lo foraneo	Costos de Distribución	Pedidos Itinerados Prevendedores
Seguridad Patrimonial	Unidades en taller	6. Envío de plan de embarques a quipo comercial	Plan de embarques	Comuicación de ajustes en recibo
TI	Pedidos fuera de Frecuencia	7. Se genera orden de salida de rutas foraneas y locales	Producto entregado en Temperatura	Pedidos en tiempo

Fuente: Autoría propia.

Conociendo los requerimientos de cada elemento que interviene en el proceso, se busca obtener la información de estas características a través del sistema MFG (Manufacturing), software creado por la empresa. Se genera una base de datos de los primeros dos meses del año 2021, donde se observa, por una parte, el total de rutas utilizadas de forma diaria, el número de clientes visitados, el volumen de alimentos vendidos (usando la unidad en kg); por otro lado, se observan los camiones situados en taller, el ausentismo del personal y las vacantes de los puestos en el área de distribución.

Con esta información, se pudo obtener los clientes atendidos por ruta diariamente, siendo en promedio 3.6.

Posteriormente, se definen, miden e integran las variables de entrada del proceso, X y Y, dentro de una matriz Causa-Efecto (C-E), como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Matriz Causa - Efecto (C-E)

NO.	Variables de entrada (Xs) ↓	PONDERACION				Peso obtenido	%	Rango
		30%	40%	15%	15%			
	Variables de salida (Ys) →	Entrega 100% de tiendas itineradas	Productividad por Ruta > 3.6 Clientes	Entrega a clientes sin diferencias ni producto en mal estado contra factura	Cumplir con la temperatura en entrega a cliente entre 0° y 4°			
X1	RUTEO AUXILIAR DE TRÁFICO	3	3	0	1	2.3	7.6%	5
X2	PEDIDOS FUERA DE FRECUENCIA	1	9	0	0	3.9	13.1%	4
X3	UNIDADES EN TALLER	9	9	0	3	6.8	22.7%	1
X4	FALTA CAPACIDAD DE UNIDADES (VOLUMEN)	9	9	0	0	6.3	21.2%	3
X5	HORAS EXTRAS	1	0	9	0	1.7	5.6%	7
X6	VACANTES	3	3	0	0	2.1	7.1%	6
X7	AUSENTISMO	9	9	0	3	6.8	22.7%	1
	Rango	2	1	2	2			

Fuente: Autoría propia.

De acuerdo a el análisis, las variables X que destacan de acuerdo al valor de su peso son:

- X3: Unidades en taller
- X4: Falta capacidad de unidades (volumen)
- X7: Ausentismo

La variable Y sobresaliente y determinante para la empresa es, la métrica primaria:

Y: Productividad de clientes por ruta

Por lo anterior se establece que, de acuerdo a la jerarquización obtenida para cada variable, serán el lugar donde se localizarán las acciones para buscar mejorar el indicador objetivo para este proyecto.

En la Figura 3 se puede observar el porcentaje representativo de cada variable X considerada.

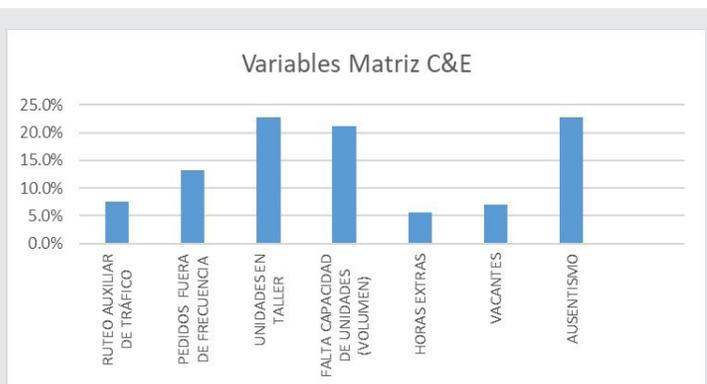


Figura 3. Gráfica representativa de la matriz Causa-Efecto
Fuente: Autoría propia.

Se identifican las 3 variables mencionadas (X3, X4 y X7) con niveles superiores al 20%.

3) Analizar. Se realiza un par de análisis utilizando la técnica de los 5 porqués y un análisis de la varianza.

a) La técnica de los 5 Porqués, método basado en realizar preguntas para explorar las relaciones de causa-efecto que generan un problema en particular. Se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Técnica de los 5 porqués

Cuál es la falla?	¿Por qué ocurre?	¿Por qué ocurre?	¿Por qué ocurre?	¿Por qué ocurre?	¿Por qué ocurre?	Por qué ocurre?	Responsable
Pedidos Fuera de frecuencia	Por solicitud del Líder de ventas	Por qué el cliente requiere el producto	Por falta de entrega pedido frecuencia anterior	Por que falta de producto/Cliente no ha pagado/Pedido adicional	Desbaste en planta/Falta de Flujo efectivo cliente/Incremento de la demanda		Lider de Ventas/Gerente de Ventas
Horas Extras	Falta de personal	Incapacidades	Enfermedades respiratorias	Trabajo en area con temperatura refrigerada	No utilizan equipo de protección de forma adecuada		Jefe de Almacén/RH
Unidades en taller	Falla mecánica	Por desgaste natural/Daño operativo/Mala reparación	Uso del activo/Descuido por parte del personal/ Tecnico no capacitado	Unidades no nuevas/ Falta de atención a la tarea/ Falta de opciones inmediatas	Decisión de negocio/ Falta supervisión efectiva/ Falta de desarrollo nuevos proveedores		Jefe de Distribución/Coord. de flota
Reenvio	Por no entregar a cliente de acuerdo a cita	Por falla mecánica/Atraso en tienda anterior	Correctivo no atendido en tiempo/ Recibo en tienda anterior prolongado	Disponibilidad de tecnico para atender la falla/ Otros proveedores reciben antes	No se tiene otra opción para atender la falla/ Se recibe de acuerdo a la llegada de cada proveedor		Coordinador de Flota/Jefe de Distribución
Ruteo de clientes fuera de objetivo por ruta	El auxiliar de trafico programa de acuerdo a su experiencia	Así se ha realizado siempre	El objetivo es entregar las tiendas si evaluar los clientes por ruta	No se tiene un indicador de seguimiento	No se tenía como objetivo		Jefe de Flota/Jefe de Distribución/Aux. de Trafico

Fuente: Autoría propia.

Con esta técnica se intenta descubrir el porqué de la ocurrencia de las variables más sobresalientes. Se encontraron algunas causas especificando, además, a los responsables de la atención a cada una de ellas.

b) El análisis de la varianza o ANOVA (Analysis of Variance) y regresión lineal.

En la Tabla 4 vemos la influencia cuantitativa de las variables en estudio sobre la variable Y: productividad de clientes por ruta.

Se le aplicó a cada una de ellas pruebas de ANOVA o regresión lineal, arrojando valores distintos para p.

Se rechaza sólo la hipótesis nula de la variable X: pedidos fuera de frecuencia; descartándola al no ser significativa para el estudio, ya que obtuvo un nivel de relevancia muy bajo: 0.001<0.1

Derivado de estos análisis se puede determinar que las variables x: falta capacidad de unidades y unidades en taller puede incidir favorablemente en la métrica primaria y: productividad de clientes por ruta, con un valor significativo sobre ella.

Tabla 4. ANOVA

Variable Y	Variable X	Prueba	Valor P	Hipótesis Nula	Significativa	Interpretación
Clientes por ruta	Ruteo auxiliar de tráfico	ANOVA	0.05 <.1	No se rechaza	SI	Las graficas y datos resultantes nos indican que no existen diferencias significativas en cuanto quien realiza el proceso de armado de rutas, arrojando un nivel de significancia de .05.
	Pedidos fuera de frecuencia	ANOVA	0.001 <.1	Si se rechaza	NO	No representan una variable que se este directamente asociada a el número de clientes por ruta de forma significativa, con un nivel de relevancia bajo.
	Unidades en taller	Regresión	0.384 <.1	No se rechaza	SI	Las unidades en taller, no tiene un valor de significacia que pudiera estar asociado al número de clientes por ruta. Sin que pueda descartar por completo que esta variable pudiera estar asociada con un configuración adecuada
	Falta capacidad de unidades	Regresión	0.313 <.1	No se rechaza	SI	Los resultados nos indican que la cantidad de clientes por ruta pudiera estar asociado al número de unidades disponibles, así como de su capacidad, si que este sea un factor ya comprobado, pero con una relevancia significativa.
	Horas Extras	Regresión	0.136 <.1	No se rechaza	SI	Los resultados nos indica que no hay una correlación significativa entre las horas extras y los clientes por ruta, tomando en cuenta un valor entre X y Y de .23

Fuente: Autoría propia.

4) Mejorar. Con la finalidad de reforzar y priorizar la atención a la resolución de las variables incidentes, se elabora una matriz de jerarquización que ayude a clarificar la deriva del proyecto, como se puede ver en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de jerarquización

Especificación de diseño	Valor asignado	%	Preventivo unidades	Causas Ausentismo	Reasignación Vehículos entre regiones	Capacitación Aux-Tráfico	Software ruteo optimo					
Rápida implementación	5	42%	9	3.75	9	3.75	5	2.08	7	2.92	3	1.25
Economico	2.5	21%	7	1.46	7	1.46	9	1.88	7	1.46	5	1.04
Durable	2	17%	7	1.17	3	0.50	9	1.50	3	0.50	9	1.50
Eficiente	1.5	13%	9	1.13	3	0.38	9	1.13	5	0.63	7	0.88
Sencillo en su aplicación	1	8%	9	0.75	7	0.58	3	0.25	7	0.58	7	0.58
Total	12	100%	8.3	6.7	6.8	6.1	5.3					

Fuente: Autoría propia.

Siendo los factores: Preventivo de unidades y reasignación de vehículos entre regiones con los valores más altos de priorización y por representar medidas de rápida implementación, son los que se eligen para establecer un plan de mejora, que permita ayudar a incrementar la productividad de clientes por ruta, que hoy pudiera estar limitando el cumplir el objetivo establecido por la empresa.

Estos valores se pueden hacer más visibles en la siguiente Figura 4.



Figura 4. Gráfico de jerarquización

Fuente: Autoría propia.

Dado todo lo anterior, se determina que, el enfoque de mejora se centrará en desarrollar un plan preventivo de vehículos que garantice la disponibilidad de unidades y en una segunda etapa, el análisis de capacidades de unidades, sin dejar de lado el seguimiento del resto de las variables X's que tienen, aunque en menor relación, incidencia en la métrica primaria.

Se presenta, además, el plan de implementación de mejora (AMEF, Análisis del Modo y Efecto de Fallas) de las variables que inciden en el proceso. Observe la Tabla 6, donde se visualizan las fallas y sus causas potenciales.

Tabla 6. Matriz AMEF

ITEM	Proceso	Modo de falla potencial	Efecto de la falla potencial (Ys)	SEV	Causa de la falla potencial	OCC	Control de proceso actual	DET	RPN
1	RUTEO	Volumen excede la capacidad de la unidad	Daño a unidad por exceso de carga sobre la capacidad instalada de la unidad	6	Falta de mantenimiento preventivo o falla de equipo por desgaste natural.	4	No	10	240
2	ALMACEN	Incremento horas extras	Altos costos de MO/ Accidentes de personal por altas jornadas de trabajo	10	Error por parte de almacén en el proceso de carga.	3	SI	10	300
3	PEDIDOS	Pedido fuera de frecuencia	Baja productividad de unidades por clientes fuera de frecuencia	5	Pedido extraordinario por parte del cliente	10	NO	10	500
4	REPARTO	Ausentismo	Incumplimiento a plan de entrega a clientes	9	Incapacidades/Faltas injustificadas	6	SI	7	378
5	FLOTA	FALLAS MECANICAS	Incumplimiento a plan de entrega a clientes	9	Falta de mantenimiento preventivo o falla de equipo por desgaste natural.	3	SI	8	216

Fuente: Autoría propia.

SEV, se refiere a la severidad; OCC es la ocurrencia, DET es la detección; el producto de las 3, nos arroja el número de prioridad de riesgo también conocido como RPN (Risk Priority Number), peso por el cual debe atenderse cada medida.

En la Tabla 7 se describen las medidas recomendadas a la empresa, con las acciones, responsables y fechas para la ejecución de cada una.

El RPN establece el valor de prioridad, sin embargo, se realiza el plan de propuestas para cada medida establecida.

Tabla 7. Matriz AMEF con propuestas

ITEM	Proceso	Medidas recomendadas	Persona responsable	Fecha Objetivo	Medidas tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
1	RUTEO	Establecer Capacidad Máxima de carga para cada tipo de unidad	Jefe de Distribución/Coord. de Flota	Inmediato	Se modifica la instrucción de trabajo que hace referencia a las restricciones de capacidad de las unidades y se realiza capacitación a auxiliares de tráfico	5	2	8	80
2	ALMACÉN	Contratación de personal por temporada alta y Cubre incapacidad	Jefe de Area/RH	30/4/2021	Se establece plan anual para contratación de personal eventual para temporada alta	10	2	8	160
3	PEDIDOS	Cumplir con plan de itinerarios de cada cliente	Jefe de Distribución/ Gerente de Ventas	15/6/2021	Se establece indicador objetivo para máximo de pedidos fuera de frecuencia por líder de ventas	4	8	8	256
4	REPARTO	Evaluación de cada caso para la aplicación de sanciones para las ausencias injustificadas	Jefe de Area/RH	Inmediato	Se establece reglamento interno de trabajo para la aplicación de medidas disciplinarias a personal que altos índices de ausentismo	9	4	6	216
5	FLOTA	Establecer plan preventivo de unidades para prevención de fallas	Jefe de Distribución/Coordinador de Flota	30/4/2021	Se crea política interna para bloqueo de unidades en caso de no cumplir con programa de mantenimiento preventivo de acuerdo a calendario definido por responsable de flota	9	2	6	108

Fuente: Autoría propia.

RESULTADOS

Una vez realizadas las propuestas de mejora, se obtiene nuevamente una base de datos, ahora del segundo bimestre del 2021, y se tiene que, con un uso aproximado de 19 rutas se pueden atender en promedio diario 4.1 clientes.

Al ya contar con una alternativa de solución definida, se vuelve a generar el análisis de correlación simulado, con el uso de minitab, a fin de determinar el beneficio que se espera con esta implementación, obteniendo el siguiente resultado resumido por el sistema como se puede observar en la Ec. 1.

$$\text{Clientes por ruta} = 4.1366 + 0.0229 \text{ unidades en taller} \quad \text{Ec. (1)}$$

Al hacer la ecuación con los datos proyectados en función de nuestra métrica primaria (Y) se logra una productividad de 4 clientes por ruta como mínimo, lo que nos permite concluir que el objetivo de incrementar los clientes por ruta se cumplen y en consecuencia la reducción en la subcontratación del uso de 2 rutas promedio diario, que se traduce en términos reales en una reducción en gasto de \$ 1,938.86 diarios, \$ 707,683.9 anualmente.

CONCLUSIONES

La optimización de recursos y la búsqueda de la mejora en la productividad es tarea diaria de las empresas.

Con el uso de diferentes técnicas encontradas dentro de la metodología DMAIC y seis sigma se pueden determinar diversas alternativas para las métricas en estudio dentro de cualquier proyecto.

La presente investigación se termina satisfactoriamente, al obtener ahorros y máximo aprovechamiento de recursos. No se descarta una continuación, reiterando la importancia de la mejora continua en cualquier organización.

Agradecimientos

A la empresa de alimentos Qualtia por su confianza y colaboración.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Adarme, W., Arango, M., & Cárdenas, I. (2014). *Comportamientos Logísticos en la distribución*. EIA, 11(21), 145-156. P.146

[2] Chase, R., & Jacobs, R. (2014). *Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros (13a ed.)*. Cd. de México, México: McGraw Hill Education (pp 379).

[3] López, E., & Alcántara, A. (Julio-diciembre de 2015). *Ventajas y desventajas de la subcontratación en México*. *Horizontes de la Contaduría* (3), 1-12.

[4] Goodman, R. (2005). *Whatever You Call It, Just Don't Think of Last-Mile Logistics*, *Last. Global Logistics & Supply Chain Strategies*, 1-6.

[5] Gutiérrez, H. (2010). *Calidad total y productividad (3a ed.)*. México: Mc Graw Hill (p.280).

[6] Socconini, L., & Reato, C. (2020). *Lean Six Sigma Management System*. México: Alfaomega (p.46).

[7] Nandakumara, N., Saleeshya, P., & Harikumar, P. (2020). *Bottleneck Identification And Process Improvement By Lean Six Sigma DMAIC Methodology*. *Materials Today: Proceedings*, 1217-1224.

[8] Krishnaiyer, K., Chen, F., Burgess, B., & Bouzary, H. (2018). *D3S Model for Sustainable Process Excellence*. *Procedia Manufacturing*, 1441-1447.

[9] Mishra, P., & Sharma, R. K. (2014). "A hybrid framework based on SIPOC and Six Sigma DMAIC for improving process dimensions in supply chain network". *International Journal of Quality & Reliability Management*, 31(5), 522-546.



Calidad

y

Sistemas de
Manufactura

Ingeniantes

Evaluación de la paradoja de la elección mediante neuromarketing experimental en consumidores de comida rápida

RESUMEN: La Paradoja de la Elección (PE) fue popularizada por el psicólogo Barry Schwartz (BS) en 2004 [1]. En ella se establece que, a mayor número de alternativas en un proceso de toma de decisiones, mayor es la ansiedad que esta actividad produce en la mente humana. BS enunció la PE con la frase “más es menos”, por las consecuencias que esta hipótesis plantea al explicar las respuestas psicológicas de clientes en términos de estímulos de mercado. Sin embargo, la PE ha generado algunas controversias en el Marketing, entre otras causas por defectos metodológicos que afectan la validez científica de algunos resultados experimentales. En este trabajo se presenta un método experimental basado en Neuromarketing, que hace uso de Electroencefalografía (EEG) y test psicológicos para evaluar la relación entre el número de opciones del menú, y el nivel de estrés mental de consumidores de productos de comida rápida. Los resultados del experimento de Neuromarketing señalan evidencia del aumento del nivel del estrés de los consumidores, por el aumento de la potencia de la señal EEG en su banda Delta en 14.7%, cuando el número de alternativas de un menú pasa de escaso (5 opciones), a numeroso (10 opciones). Esta confirmación empírica de la PE explica algunas decisiones estratégicas de este sector alimenticio, donde empresas dominantes han reducido el número de opciones en los menús, para aumentar sus ventas.

PALABRAS CLAVE: Paradoja de la Elección, Neuromarketing Experimental, Estrés mental, Comida Chatarra.



Colaboración

María Luisa Córdoba Tlaxcalteco; Alejandro del Rey Torres Rodríguez; Luis Manuel Siliceo Verónica; María Guadalupe Montes De Oca Sánchez, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 25 de octubre de 2022

Fecha de aceptación: 11 de noviembre de 2022

ABSTRACT: The Paradox of Choice (PC) was popularized by psychologist Barry Schwartz (BS) in 2004. It states that the greater the number of alternatives in a decision-making process, the greater the stress that this activity produces in the human mind. BS summarizes PC with the phrase “more is less”, due to the consequences that this hypothesis raises when explaining psychological customer responses in terms of market stimuli. Some controversies generated by PC in Marketing could be explained by methodological defects which affect the scientific reliability of the studies on PC. This paper presents an experimental method based on Neuromarketing that uses Electroencephalography data, and psychological tests, to assess the relationship between the number of menu options and the level of mental stress in customers of fast-food products. The realization of the experiment points to an increase in the level of stress, indicated by the increase of the power of the Delta band of EEG in 10%, when the number of alternatives on the menu increases from 5 to 10. This empirical confirmation of the PC explains some strategic decisions of this food sector, where dominant companies have reduced the number of options in their menu, in order to increase its sales.

KEYWORDS: Paradox of Choice, Experimental Neuromarketing, Mental Stress, Fast-Food.

INTRODUCCIÓN

La Paradoja de la Elección (PE) es una hipótesis de la psicología del consumidor que establece que el incremento en el número de opciones en los procesos de toma de decisión, produce un aumento de la ansiedad para el cliente, afectando negativamente su experiencia de cliente [1]. Fue popularizada de manera brillante por Barry Schwartz (BS) en 2004, mediante el aforismo: “más es menos”. La PE explica algunas respuestas de clientes ante decisiones de compra y estímulos del mercado. El impac-

to de la PE es tal que algunas grandes empresas de alimentos, como McDonald's, han establecido una relación causal entre el declive de sus ventas, y el aumento en la complejidad de sus menús [2]. Esto ha llevado a la disminución del número de elementos en el menú de sus productos [3]. Sin embargo, mientras que algunos estudios experimentales confirman la validez de la PE en términos generales, otros la cuestionan. Incluso en algunos casos se llega a concluir lo opuesto a la PE [4]. Ante esto, el mismo BS ha sugerido que la dirección correcta de investigación consiste en encontrar el número mágico que maximiza la felicidad de las personas, al momento de tomar decisiones [5]. Este enfoque de optimización afectiva de la experiencia del cliente requiere un marco conceptual objetivo para evaluar el estrés de los compradores, así como un análisis de la relación que existe entre el número de opciones por elegir, y la ansiedad que experimenta el tomador de decisión. El término estrés fue acuñado por Hans Selye en 1936, quien lo define como "la respuesta no específica del organismo a cualquier demanda de cambio" [6]. Esta respuesta puede ser de tipo mental o fisiológica [7]. Desde el punto de vista del Marketing, el estrés es una emoción que produce experiencias negativas en los clientes [8]. La evaluación objetiva del estrés es uno de las aplicaciones más recientes del Neuromarketing, que explota la doble faceta psicológica y orgánica de esta emoción [9]. La Electroencefalografía (EEG) es una técnica de medición biométrica que ha sido utilizada ampliamente en Neuromarketing para medir el estrés, por su carácter no invasivo, y la facilidad de su implementación [10]. La finalidad de este trabajo es realizar un experimento de Neuromarketing para validar la PE mediante la evaluación del nivel de estrés en clientes que seleccionan productos de una lista de alternativas. Esta evaluación se realiza con EEG y con test psicológicos. El grupo de clientes elegidos son los usuarios de comida rápida, ya que en este sector se ha encontrado evidencia de que las empresas obtienen la mayoría de sus ganancias por un subconjunto pequeño de sus menús, lo que ha producido una simplificación de su cartera de productos, ver por ejemplo [11].

MATERIAL Y MÉTODOS

Método de Neuromarketing Experimental

El experimento se realizó con 50 personas (30 mujeres, el resto hombres), tomando en cuenta que el número de participantes de referencia en estudios de Neuromarketing es de 36 [17]. La descripción del método experimental de Neuromarketing se encuentra en [12], y se representa en Figura 1. Las etapas de tal método son las siguientes.

1. Diseñar objetivo, que es obtener evidencia empírica sobre la PE.
2. Diseñar hipótesis, en este caso la PE.
3. Seleccionar un marco teórico, que en este caso es la del "Cerebro Triuno", [12].
4. Diseñar estímulo, que son 2 escenarios virtuales para la elección, con opciones escasas (5 opciones), y

abundantes (10 opciones). El entorno virtual se presenta en [14].

5. Seleccionar métodos de medición, que en este caso es el potencial eléctrico cerebral, obtenido mediante EEG, específicamente en la banda de frecuencia Delta (de 0.1 a 4 Hz). En cuanto a la evaluación psicométrica, se elige la medición del cerebro dominante en el modelo "triuno" (reptiliano, límbico, neo-córtex), mediante escala Likert estandarizada (instrumento ETD), y la medición del criterio de optimización en la toma de decisiones (maximizador o satisfactor/optimizador), mediante escala Likert estandarizada (instrumento Emax).

6. Diseñar experimento, que se desarrolla en el entorno virtual en la Figura 2, con factores establecidos en la Figura 4, criterios de inclusión y exclusión en la Figura 5, y algoritmos de clasificación de estrés en la Figura 6.

7. Diseñar métodos operacionales, descritos en la Figura 3. Las actividades de cálculo matemático y colorear sirven para obtener datos de entrenamiento con estrés alto y bajo, respectivamente.

8. Implementar el experimento.

9. Analizar datos, en este caso determinando si la diferencia de la potencia de la señal en la banda Delta se incrementa en más de un 10%, del escenario de la decisión 1 (opciones escasas), al de la decisión 2 (opciones abundantes). Esta condición es considerada evidencia del incremento significativo el nivel de estrés [3].

10. Establecer conclusiones con respecto de la hipótesis, en este caso la PE.

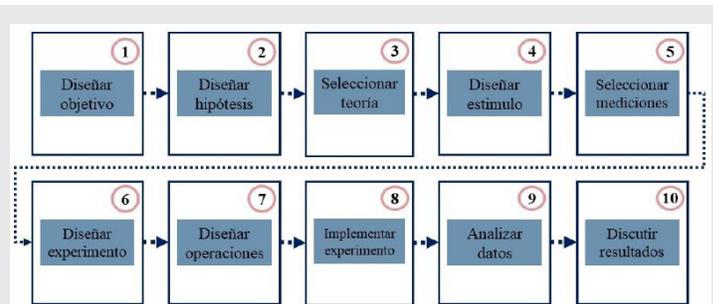


Figura 1. Representación de las etapas del método experimental de Neuromarketing.

Fuente: Propia.

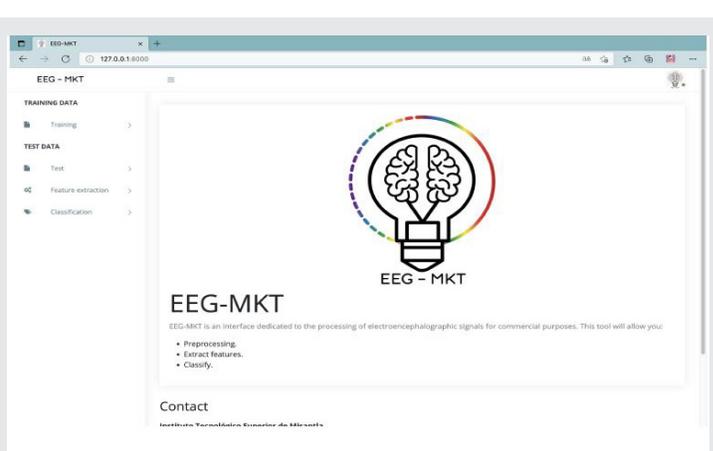


Figura 2. Vista del entorno virtual para el desarrollo del experimento. Fuente: Propia.



Figura 3. Marco de trabajo del experimento de Neuromarketing. Fuente: Propia.

RESULTADOS

En cada participante se registraron los resultados de los instrumentos Emax, ETD, y 4 diferentes señales EEG, cada una con 14 nodos: en las etapas de entrenamiento, con actividades de colorear (estrés bajo) y resolver una ecuación algebraica (estrés alto), y en los escenarios con pocas o abundantes opciones por elegir (designadas por D1 y D2, respectivamente). Los resultados globales de la distribución de la potencia de las señales, por banda de frecuencia, se muestran en la Figura 7. La mayor diferencia se aprecia en la banda Delta, con un incremento de más del 10% en el escenario D2, con respecto de D1. Esto, según [3], es evidencia del incremento significativo de nivel de estrés, y se asocia también con la disminución de la conciencia del mundo físico, y dificultad para pensar, ver [15].

FACTORES	NIVELES	ESCALA	TIPO DE MEDICIÓN
Escala de maximación.	Maximador, satisfactor.	Likert.	Intervalo.
Evaluación de tomas de decisiones.	Cerebro triuno, cerebro líbico, neocortex.	Likert.	Intervalo.
Estímulo.	Opciones abundantes.	No aplica.	Normal.
Sexo.	Femenino, masculino.	No aplica.	Normal.
Potencia.	0-1	Porcentaje.	Intervalo.

Figura 4. Clasificación de las variables consideradas en el experimento. Fuente: Propia.

Por otra parte, los resultados del cuestionario Emax se muestran en la Figura 8, donde se muestra que la mayoría de los individuos son del tipo satisfactor. Sin embargo, al realizar un análisis de diferencia de varianza para la potencia de la banda Delta en ambos grupos, se encuentra una diferencia no significativa, con un valor de significación estadística mayor a 0.05 [18]. Los resultados del “cerebro” dominante, de acuerdo al instrumento ETD, se muestran en las Figuras 9 y 10. Aquí se destaca que la prevalencia del cerebro “reptiliano” es mayor en el escenario D2 con respecto del esce-

nario D1. Como el cerebro “reptiliano” se ha asociado en Neuromarketing con las respuestas más primitivas del cerebro humano, esto es interpretado en el estudio como evidencia del incremento del nivel de estrés [12]. Sin embargo, esto se encuentra sujeto a cierta controversia en Neuromarketing, [16]. Es destacable que el sujeto identificado con el número 1 presenta diversas discrepancias con el resto de la muestra bajo estudio, dado que en ambos escenarios presenta predominancia del cerebro “neo-córtex”, y una diferencia de potencia de banda Delta inferior al 10%. Probablemente por características desconocidas de su personalidad. En resumen, tanto el incremento de la potencia de la banda delta del EEG en más del 10% de D2 con respecto de D1, así como el aumento de la prevalencia del cerebro “reptiliano” en D2, con respecto de D1, son interpretados como evidencia del aumento del estrés. No se aprecia diferencia significativa entre los grupos satisfactor y optimizadores en cuanto a estrés en los escenarios D1 y D2.

CONCLUSIONES

Los resultados del experimento confirman empíricamente la PE, y van acorde con las políticas de optimización de los menús de las principales empresas comercializadoras de comida rápida. Es materia de investigación posterior determinar si la PE es confirmada en el caso de selecciones de productos de primera necesidad, como medicinas o alimentos saludables.

CRITERIOS	
INCLUSIÓN	EXCLUSIÓN
Edad entre 18 y 30	Trastorno psicológico detectado (Ansiedad, Depresión, Trastorno de oposición desafiante, Trastorno de la conducta, Trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), Síndrome de Gilles de la Tourette, Trastorno obsesivo-compulsivo, Trastorno por estrés postraumático) (Association y cols., 1994).
Estudiante	Adicción a sustancias psicoactivas (Cannabis, Cocaína, Estimulantes de tipo amfetamínico, Sedantes e hipnóticos, Opioides, Inhalantes, Alucinógenos) (OPS, 2022).
Ha utilizado páginas WEB	Discapacidad cognitiva detectada (Leve, Moderado, Grave, Profundo) (EuroInnova, 2020).

Figura 5. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Propia.

CLASIFICADOR	BREVE DESCRIPCIÓN Y PARÁMETROS CONSIDERADOS
Artificial neural network (ANN).	Se utiliza con tres capas ocultas de 64, 32 y 16 neuronas.
K nearest neighbor (KNN).	Se utilizan valores predeterminados en la caja de herramientas de scikit-learn python.
Random forest (RF).	Se utilizan valores predeterminados en la caja de herramientas de scikit-learn python.
Support Vector Machine.	Se considera el kernel de hiperparámetros con la función de base radial.

Figura 6. Algoritmos de clasificación de estrés, basados en EEG. Fuente: Propia.

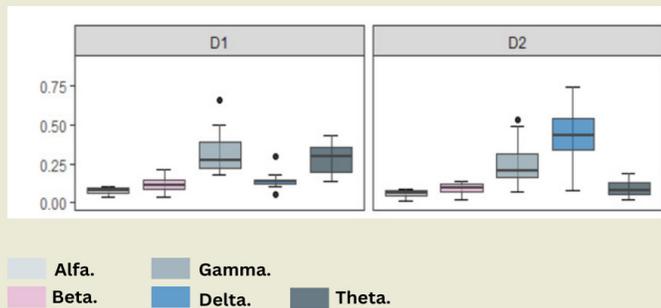


Figura 7. Resultados de la potencia de banda de las señales EEG. La banda Delta resulta con un incremento superior al 10% en la potencia de banda, en el escenario D2 con respecto de D1. Fuente: Propia.

Cerebro dominante.

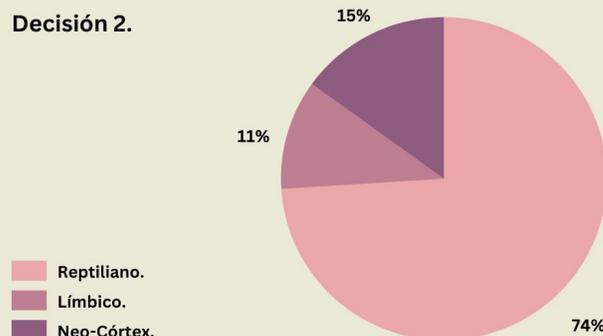


Figura 10. Resultados de la clasificación del tipo de "cerebro" dominante en escenario D1, según el instrumento ETD. Fuente: Propia.

Criterio de optimización.

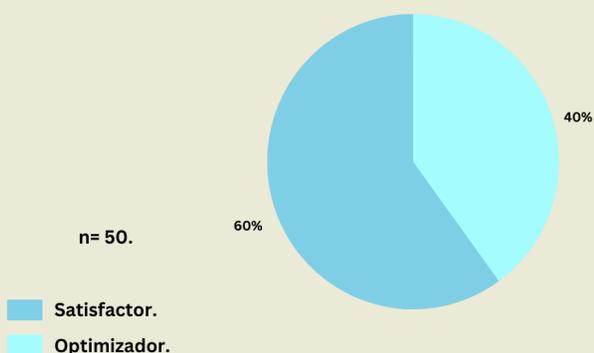


Figura 8. Resultados de la clasificación del grado de optimización de los participantes, de acuerdo al instrumento Emax. Fuente: Propia.

Cerebro dominante.

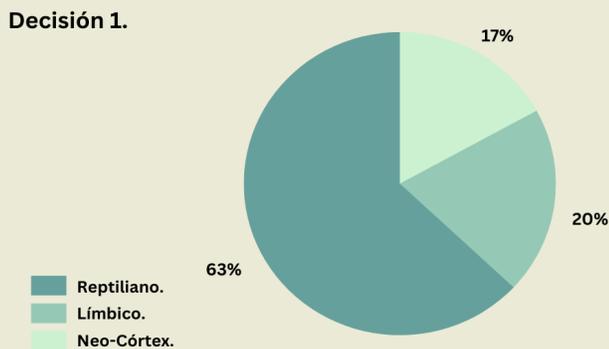


Figura 9. Resultados de la clasificación del tipo de "cerebro" dominante en escenario D1, según el instrumento ETD. Fuente: Propia.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Velu, J. F., & Piek, J. J. (2019). The mitral paradox of choice. *Netherlands Heart Journal*, 27(4), 167-168.

[2] Park, S., & Kang, J. (2022). More is not always better: determinants of choice overload and satisfaction with customization in fast casual restaurants. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 31(2), 205-225.

[3] Priya, T. H., Mahalakshmi, P., Naidu, V. P. S., & Srinivas, M. (2020, February). Stress detection from EEG using power ratio. In *2020 International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ic-ETITE)* (pp. 1-6). IEEE.

[4] Pandey, A. K., & Desai, J. (2020). Analysing the Paralysis: Inquiry into the Paradox of Choices in Online Apparel Shopping. *Our Heritage*, 68(22), 101-123.

[5] Bowden, M. D. (2021). A Comparative Perspective on the Paradox of Choice.

[6] Breitenbach, M., Kapferer, E., & Sedmak, C. (2021). Hans Selye and the Origins of Stress Research. In *Stress and Poverty* (pp. 21-28). Springer, Cham.

[7] Panicker, S. S., & Gayathri, P. (2019). A survey of machine learning techniques in physiology based mental stress detection systems. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 39(2), 444-469.

[8] Lucia-Palacios, L., Pérez-López, R., & Polo-Re-dondo, Y. (2020). Does stress matter in mall experience and customer satisfaction? *Journal of Services Marketing*.

[9] Clark, K. R. (2020). *A field with a view: Ethical considerations for the fields of consumer neuroscience and neuromarketing*. In *Developments in Neuroethics and Bioethics* (Vol. 3, pp. 23-61). Academic Press.

[10] Khurana, V., Gahalawat, M., Kumar, P., Roy, P. P., Dogra, D. P., Scheme, E., & Soleymani, M. (2021). *A survey on neuromarketing using EEG signals*. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 13(4), 732-749.

[11] Thaichon, P., Quach, S., & Surachartkumtonkun, J. (2019). *Intention to purchase at a fast-food store: Excitement, performance and threshold attributes*. *Asian Journal of Business Research*, 9(1), 81.

[12] Rivera-Perez, S. P., *Desarrollo de una metodología de experimentos para neuromarketing con datos electroencefalográficos y de cuestionarios* (2022), tesis de posgrado no publicada, Instituto Tecnológico Superior de Mianfla.

[13] Li-Blasheck, T., & Noor, J. (2020). *The Dark Side of Variety: An Economic Model of Choice Overload*. *The Yale Undergraduate Research Journal*, 1(1), 38.

[14] Callejas Roldan, L.I., *Diseño de una interfaz cerebro-computadora para el análisis de datos electroencefalográficos vía Internet con aplicación a Neuromarketing* (2022), tesis de posgrado no publicada, Instituto Tecnológico Superior de Mianfla.

[15] Balconi, M., Venturella, I., Sebastiani, R., & Angioletti, L. (2021). *Touching to Feel: Brain Activity During In-Store Consumer Experience*. *Frontiers in Psychology*, 12, 653011.

[16] Gupta, S. (2021). *How People Buy Online: The Psychology Behind Consumer Behaviour*. SAGE Publishing India.

[17] Voizzi, A., Ronca, V., Aricò, P., Borghini, G., Sciaraffa, N., Cherubino, P., ... & Di Flumeri, G. (2021). *The sample size matters: to what extent the participant reduction affects the outcomes of a neuroscientific research. A case-study in neuromarketing field*. *Sensors*, 21(18), 6088.

[18] Sprott, D. A. (2008). *Statistical inference in science*. Springer Science & Business Media.



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Efecto del estiércol y yeso agrícola sobre el rendimiento y composición química del maíz forrajero (*Zea mays*)



Colaboración

Rocío Aidé Carrasco Rubio; Manuel Ismael Mata Escobedo, Tecnológico Nacional de México / Campus Valle del Guadiana Esperanza Herrera Torres, Universidad Juárez del Estado de Durango; Darío Cisneros Arreola; Merit Cisneros González, Tecnológico Nacional de México / Campus Valle del Guadiana

Fecha de recepción: 16 de febrero de 2022

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2022

RESUMEN: Se evaluó rendimiento y composición química del forraje de maíz durante dos ciclos, 2020 y 2021, con la aplicación de combinaciones de estiércol bovino y yeso agrícola. Las dosis fueron: 0, 40, 80, 120 y 160 kg•ha⁻¹ de estiércol; 0, 80 y 160 kg•ha⁻¹ de yeso. Los datos obtenidos del rendimiento, composición química y digestibilidad se analizaron con ANOVA para un diseño completamente al azar. En el Ciclo 2020, el RBMV, RBMS y la altura fueron diferentes entre los tratamientos ($p < 0.05$). Además, la DIVMS fue diferente entre tratamientos ($p < 0.05$). Durante el Ciclo 2, el mayor rendimiento se obtuvo en el T8 tanto en RBMV como en RBMS ($p < 0.05$). También se registró un aumento del 28% ($p < 0.05$) en la DIVMS con respecto a T1 cuando se aplicó solo estiércol. Las concentraciones de C, MO, PC, EE, FDN y FDA fueron diferentes entre tratamientos ($p < 0.05$) en el ciclo 2021. La precipitación pluvial observada fue mayor en 104.2 mm durante ciclo 2021, lo cual promovió un aumento en el RBMV y RBMS, y PC.

PALABRAS CLAVE:

Digestibilidad, estiércol bovino, forraje, yeso agrícola, *Zea mays*.

ABSTRACT: The yield and chemical composition of corn forage were evaluated during two cycles, 2020 and 2021, with the application of combinations of cattle manure and agricultural gypsum. The doses were: 0, 40, 80, 120; 160 kg•ha⁻¹ of manure, and 0, 80, and 160 kg•ha⁻¹ for gypsum. Data obtained for yield, chemical composition, and digestibility were analyzed with ANOVA for a completely randomized design. In Cycle 2020, RBMV, RBMS, and height were different among treatments ($p < 0.05$). In addition, IVDMD was different among treatments ($p < 0.05$). During Cycle 2, the highest yield was obtained at T8 in both RBMV and RBMS ($p < 0.05$). There was also an increase of 28% ($p < 0.05$) in IVDMD concerning T1 when manure alone was applied. The concentrations of C (ashes), OM, CP, EE, NDF, and ADF were different among treatments ($p < 0.05$) in the 2021 cycle. The rainfall was higher by 104.2 mm during the 2021 cycle, which promoted an increase in the RBMV and RBMS, and PC.

KEYWORDS: Digestibility, bovine manure, forage, agricultural gypsum, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

En México el maíz (*Zea mays*) es el cultivo de mayor consideración económica social y cultural y sin duda, es uno de los cereales de mayor importancia mundial, esto debido a que se utiliza tanto para consumo humano como para la alimentación de una gran variedad de especies animales con importancia económica, los cuales lo consumen en

sus diversas formas como: forraje fresco, ensilado o rastrojo, con la finalidad de complementar sus dietas, siendo este utilizado principalmente en la época más seca del año [1], de aquí que tanto el rendimiento como la calidad del maíz son importantes en la producción de este cereal.

En el año 2020 se destinaron en México 1,209,277 ha., para la siembra de maíz con una producción de 8,307,866 toneladas, y un rendimiento de 6.912 t•ha⁻¹ de los cuales el 60% de la producción de maíz proviene de los productores de pequeña escala. Para el 2021 en todo el país, se registraron hasta la fecha 689,718 ha destinadas a la siembra de este invaluable cereal [2]. Por lo cual es inherente el encontrar alternativas en el manejo de las condiciones físicas y químicas del suelo, tanto para maximizar la producción, como para obtener una óptima calidad de tan importante recurso. En investigaciones anteriores se recomienda el uso de yeso agrícola en combinación con fuentes de materia orgánica para mejorar las condiciones del suelo [3] y para tener una buena producción [4].

Las prácticas agronómicas se evalúan con base en los datos de rendimiento ya que es muy importante a la hora de planificar las superficies y estimar los ingresos. Por otra parte, la digestibilidad tiene como finalidad incrementar la exactitud en la determinación del aporte de los nutrimentos del forraje, y por tanto hacer de la formulación de raciones para animales domésticos una metodología más eficiente. Por lo cual se ha optado por evaluar el beneficio que se puede obtener en calidad y rendimiento de producción del forraje de (*Zea mays*) con la aplicación simultánea de estiércol bovino y yeso agrícola mediante un ensayo realizado en el Ejido Felipe Ángeles en la región noreste del estado de Durango Dgo., región en la cual abunda el suelo Vertisol crómico que se caracteriza por ser arcilloso y pobres en materia orgánica [5], por lo cual con la aplicación de yeso agrícola y estiércol bovino al momento de la siembra y en la escarda se espera que los resultados proporcionen beneficios suficientes para modificar el paquete tecnológico actual, que no contempla conservar y menos mejorar, las condiciones del suelo, por lo cual es de suma importancia diseñar y evaluar técnicas que permitan mejorar las condiciones tanto físicas como químicas del suelo para incrementar la producción y la calidad del forraje de maíz.

MATERIAL Y MÉTODOS

Metodología

La presente investigación tuvo lugar en el ejido General Felipe Ángeles localizado en Durango, Dgo., México, con un clima seco semidesértico, cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos con una temperatura media anual de 17.2 °C; una temperatura máxima de 25.8 °C y una mínima de 8.5 °C. [5]. Para la siembra se utilizó, semilla de maíz híbrido (Maíz SB-308), la cual se sembró durante el ciclo primavera-verano corres-

pondientes a los años 2020 y 2021, a una densidad de 95,000 plantas/ha según la técnica descrita por INIFAP [6, 7].

La distribución de los tratamientos en campo se realizaron bajo un diseño completamente al azar, con tres repeticiones [8]. Las dimensiones de las parcelas fueron de 20 x 110 m. Las dosis de mejoradores de suelo se aplicaron como se indican en la Tabla 1, durante dos ciclos agrícolas en dos años consecutivos (2020 y 2021).

Tabla 1. Dosis de estiércol bovino y yeso agrícola aplicadas durante los ciclos 2020 y 2021

TRATAMIENTO	Estiércol (kg•ha ⁻¹)	Yeso agrícola (kg•ha ⁻¹)
T1	0	0
T2	40	80
T3	80	160
T4	80	80
T5	120	80
T6	120	160
T7	120	0
T8	80	0

Fuente: Elaboración propia.

Los tratamientos se formularon con las combinaciones de estiércol bovino y yeso agrícola, utilizando 0, 40, 80 y 120 kg•ha⁻¹ de estiércol y 0, 80 y 160 kg•ha⁻¹ de yeso agrícola. Todos los tratamientos fueron complementados con urea y fosfato diamónico (DAP) para proporcionar la fertilización 180-80-00 recomendada por el INIFAP para la región centro - norte de México [7].

La aplicación del estiércol y del yeso agrícola se realizó de manera simultánea en dos momentos: a la siembra y a la escarda.

Preparación de suelo

El sistema de preparación del suelo fue según la metodología dictada en la guía para la asistencia técnica agrícola área de la región norte centro del país [9].

Rendimiento

El rendimiento de biomasa de materia verde (RBMV) y el rendimiento de biomasa de materia seca (RBMS) se determinaron según la técnica descrita en el Manual de Determinación de Rendimiento proporcionado por el CIMMYT y se reportan en t•ha⁻¹ [10].

Digestibilidad in vitro

La determinación de digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) se realizó con la técnica de ANKOM denominada In Vitro True Digestibility Method (IVTD - Daisy) y la determinación de %MS, se realizó mediante la técnica de secado en estufa [11].

Composición química

Todos los tratamientos experimentales fueron sujetos a análisis de composición química de acuerdo con

los procedimientos estandarizados por la AOAC [12]. Además, la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) fueron determinadas en un equipo Fiber Analyzer 200 (ANKOM Technology, USA), como lo propuso el fabricante ANKOM [13].

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del rendimiento y las variables de composición química se analizaron con un ANOVA para un diseño completamente al azar y la comparación de medias entre tratamientos se hizo con la prueba de rango múltiple de Tukey a un nivel de significancia de 5% ($p < 0.05$). El análisis se efectuó haciendo uso del software para análisis estadístico InfoStat® [14].

RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los resultados de RBMV, RBMS y la altura del forraje de maíz durante el ciclo 2020. El RBMV, RBMS y la altura fueron diferentes entre los tratamientos ($p < 0.05$). El RBMV se incrementó 56% con la aplicación de estiércol y yeso agrícola con respecto a T1 (fertilizante químico). Mientras que el RBMS fue mayor al adicionar 80:80 kg de yeso agrícola y estiércol. Sin embargo, la altura disminuyó en este mismo tratamiento.

El incremento en el RBMV registrado al adicionar 120 y 80 kg•ha⁻¹ de estiércol y yeso agrícola, respectivamente, coincide con lo reportado por Salazar et al. [15], donde se evaluó la respuesta del maíz forrajero a cinco dosis de estiércol bovino (0, 40, 80, 120 y 160 kg ha⁻¹), combinado con fertilizante químico 150-150 (N-P2 05; kg ha⁻¹), pero sin aplicación de yeso, y supera lo reportado por Pool et al. [16] donde utilizaron como mejoradores de suelo fertilizante mineral, gallinaza y cal dolomítica, en distintas dosis. Por otra parte, el RBMS fue mayor en el T4 con respecto al T1. Estos valores fueron 29% mayores a los reportados por Figueroa et al. [17]. Asimismo, la altura de la planta fue similar entre los tratamientos ($p < 0.05$), y los valores promedio, 1.80 m, coinciden con los obtenidos en otro estudio [18] en el cual se utilizaron aplicaciones iguales de estiércol bovino al de este estudio, aunque no se combinó con yeso.

Tabla 2. Rendimiento y altura de forraje de maíz durante el ciclo 2020

Tratamientos	RBMV (t-ha ⁻¹)	RBMS (t-ha ⁻¹)	ALTURA (m)
T1	45.90 ^b	16.28 ^{ab}	2.03 ^a
T2	51.10 ^{ab}	16.33 ^{ab}	1.56 ^b
T3	50.97 ^{ab}	16.11 ^{ab}	1.54 ^b
T4	69.73 ^{ab}	23.02 ^a	1.54 ^b
T5	70.67 ^a	19.94 ^{ab}	1.80 ^{ab}
T6	56.67 ^{ab}	17.20 ^{ab}	1.60 ^a
T7	66.63 ^{ab}	20.07 ^{ab}	2.40 ^a
T8	48.00 ^{ab}	15.3 ^b	1.75 ^b
E.E.	4.17	1.42	0.12

^{ab}Medias con diferente literal son distintos ($p < 0.05$). RBMV=rendimiento de biomasa de materia verde, RBMS=rendimiento de biomasa de materia seca.

Por otra parte, se detectó diferencia entre tratamientos con relación a la DIVMS ($p < 0.05$, Figura 1). Se observó que cuando se aplicaron 80 kg por hectárea de estiércol la DIVMS disminuyó 25%, comparada con el testigo, pero también se encontró una disminución de la digestibilidad del forraje del 19% entre la aplicación de 80 y 120 kg de estiércol. Los valores promedio obtenidos en este estudio coinciden con la digestibilidad reportada por Ruiz et al. [19] quienes reportan una digestibilidad aproximada al 68%.

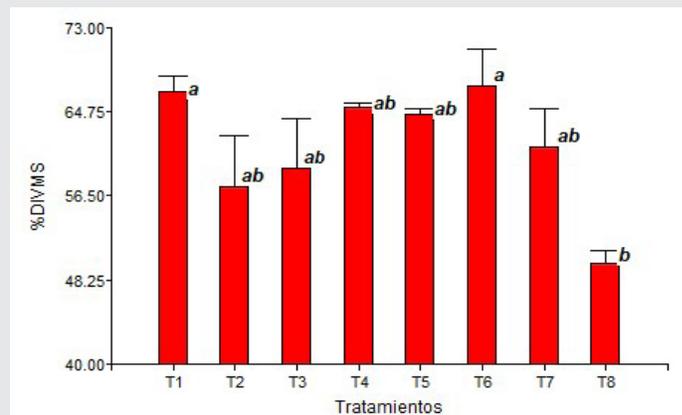


Figura 1. Efecto de la aplicación de estiércol bovino y yeso agrícola sobre la DIVMS, Ciclo 2020

Por otro lado, en el Ciclo 2021 el mayor rendimiento se obtuvo en el T8 tanto en RBMV como en RBMS ($p < 0.05$, Tabla 3). Esos valores muestran que la aplicación de estiércol bovino aun sin aplicación de yeso agrícola proporcionó mejores rendimientos que la fertilización química. Salazar et al. [13] reportaron 8 y 4 % más en RBMV y RBMS, respectivamente, que lo obtenido en este estudio, aunque esa diferencia posiblemente se debió al año atípico con relación a precipitaciones que dificultaron el corte en el tiempo óptimo durante este estudio.

Con relación a la altura de la planta en el ciclo 2021, los incrementos observados ($p < 0.05$, Tabla 3) coinciden con los reportados en otros estudios [16,18]. También se registró un aumento del 28% ($p < 0.05$, Tabla 3) en la DIVMS con respecto a T1 cuando se aplicó solo estiércol (T8), lo cual indica un buen aprovechamiento de fuentes orgánicas de nutrientes para las plantas cuando hay agua suficiente, ya que esto favorece el lavado de los suelos que elimina componentes no deseados que se pueden acumular cuando se aplica estiércol de bovino a los suelos agrícolas en cantidades considerables.

Esta aseveración se fundamenta en el reporte que emitieron en el ciclo mayo-sep 2021 de 347.5 mm de precipitación pluvial, las lluvias fueron particularmente intensas con 451.7mm [20]. Por lo anterior se considera que es necesario realizar más estudios para determinar la incidencia de la cantidad hídrica con el efecto del estiércol y yeso agrícola sobre el maíz forrajero.

Tabla 3. Rendimiento y digestibilidad del forraje verde del ciclo 2021.

	RBMV (%)	RBMS (%)	ALTURA (m)	DIVMS (%)
T1	47.23 ^{cde}	17.32 ^{abc}	2.01 ^a	58.83 ^e
T2	38.23 ^e	12.50 ^e	2.05 ^a	65.08 ^{cd}
T3	76.60 ^a	24.65 ^d	2.30 ^a	66.31 ^{cd}
T4	64.43 ^b	20.87 ^{bcd}	2.08 ^a	72.25 ^{ab}
T5	55.47 ^{bcd}	15.77 ^{cd}	2.06 ^a	63.85 ^{de}
T6	45.93 ^{cde}	14.21 ^e	1.70 ^a	66.99 ^{bcd}
T7	57.13 ^{bc}	17.60 ^{ab}	2.34 ^a	70.12 ^{abc}
T8	86.07 ^a	30.18 ^a	2.14 ^a	74.80 ^a
E.E	2.19	0.74	0.11	1.13

^{abcde}Medias con letras diferentes no son iguales ($p < 0.05$) RBMV=rendimiento de biomasa de materia verde, RBMS=rendimiento de biomasa de materia seca, DIVMS=digestibilidad in vitro de la materia seca.

En la Tabla 4 se muestran las variables de la composición química del forraje verde durante el ciclo 2020. El contenido de cenizas y materia orgánica fue diferente entre los tratamientos ($p < 0.05$). La concentración de cenizas aumentó 11 % en relación a T1, esto se puede explicar debido al contenido de cenizas del estiércol [21]; mientras que, la materia orgánica disminuyó en este mismo tratamiento. Por otro lado, el contenido de PC no fue afectado por la fertilización ($p > 0.05$). Los valores de PC registrados en este estudio son menores a los reportados en otro estudio con maíz forrajero fertilizado con estiércol con diferentes dosis [22]. Los bajos valores de PC obtenidos en el forraje de maíz durante el ciclo 2020 se deben probablemente a la escasez de lluvia que se presentó en este año y por lo tanto la calidad nutrimental del forraje fue afectada de manera negativa y tal vez por esa cantidad de agua no se haya integrado de manera correcta los fertilizantes utilizados en este experimento.

Tabla 4. Contenido nutricional del forraje verde (%) del ciclo 2020.

	C	MO	PC	E.E	FDN	FDA
T1	5.58 ^{ab}	94.42 ^{ab}	6.6 ^a	1.54 ^b	63.91 ^a	29.67 ^b
T2	4.85 ^{ab}	95.15 ^{ab}	5.51 ^a	1.38 ^b	63.20 ^a	41.46 ^{ab}
T3	5.09 ^{ab}	94.91 ^{ab}	7.13 ^a	2.29 ^a	69.79 ^a	39.12 ^{ab}
T4	6.23 ^a	93.77 ^b	6.68 ^a	0.64 ^c	62.99 ^a	31.59 ^{ab}
T5	6.16 ^a	93.84 ^b	6.48 ^a	0.31 ^d	66.00 ^a	32.42 ^{ab}
T6	5.03 ^{ab}	94.97 ^{ab}	5.48 ^a	0.60 ^c	64.32 ^a	28.93 ^b
T7	3.26 ^b	96.74 ^a	6.53 ^a	1.46 ^b	64.32 ^a	36.53 ^{ab}
T8	5.2 ^{ab}	94.81 ^{ab}	7.68 ^a	1.50 ^b	63.06 ^a	50.93 ^a
E.E.	0.51	0.51	0.53	0.05	2.29	4.06

^{abcd}Medias con letras diferentes no son iguales ($p < 0.05$).C= ceniza, MO=materia orgánica, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácida.

El contenido de EE y FDA fueron diferentes entre los tratamientos ($p < 0.05$), no obstante, la concentración de FDN fue igual entre los tratamientos ($p > 0.05$). La concentración de FDN y FDA se encuentran por encima de los valores de un forraje de buena calidad de acuerdo con [23], los forrajes con un contenido menor a 40 % de FDN pueden considerarse como de buena calidad, mientras que aquellos que sobrepasan el 60 %, pudieran interferir con la digestión y el consumo.

La composición química del forraje verde durante el ciclo agrícola 2021 se presenta en la Tabla 5. Las concentraciones de C, MO, PC, EE, FDN y FDA fueron diferentes entre tratamientos ($p < 0.05$).

Tabla 5. Contenido nutricional (%) del forraje verde del ciclo 2021

	C	MO	PC	EE	FDN	FDA
T1	4.98 ^a	95.02 ^e	7.15 ^c	1.50 ^c	70.63 ^a	39.60 ^a
T2	4.66 ^a	95.34 ^{de}	7.23 ^c	2.53 ^b	61.50 ^b	31.67 ^{bc}
T3	5.20 ^a	94.80 ^e	7.88 ^{bc}	3.25 ^a	60.50 ^b	30.12 ^{bc}
T4	3.09 ^e	96.91 ^a	11.04 ^a	3.53 ^a	41.18 ^{ef}	22.59 ^{de}
T5	4.05 ^b	95.95 ^{cd}	8.77 ^b	2.51 ^b	55.38 ^{bc}	33.24 ^{ab}
T6	3.58 ^{cde}	96.42 ^{abc}	9.64 ^{ab}	3.25 ^a	49.89 ^{cd}	28.08 ^{bcd}
T7	3.94 ^{bcd}	96.06 ^{bcd}	8.74 ^{bc}	2.63 ^b	45.7 ^{de}	25.30 ^{cde}
T8	3.18 ^{de}	96.82 ^{ab}	9.10 ^b	3.40 ^a	35.98 ^f	19.37 ^e
E.E.	0.17	0.17	0.37	0.07	1.42	1.43

^{abcde}Medias con letras diferentes no son iguales ($p < 0.05$).C= ceniza, MO=materia orgánica, PC=proteína cruda, EE= extracto etéreo, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácida.

En los datos de las variables de composición química del forraje verde, en los tratamientos donde se combinan el estiércol y el yeso agrícola, se puede observar que el contenido de cenizas disminuye al incorporar estiércol y yeso agrícola (80-80), sin embargo, en este mismo tratamiento se observa un aumento en la concentración de PC y una disminución en los contenidos de FDN y FDA, lo cual impacta de manera positiva la calidad nutrimental del forraje verde, además con estas características este forraje puede ser considerado como óptimo para ser conservado mediante un proceso de ensilaje con el cual se puede alimentar ganado con un forraje de buena calidad. El aumento del 54% en la PC en T4 con respecto a T1 puede atribuirse a una mayor precipitación pluvial ocurrida durante este ciclo comparado con el año anterior. Cabe mencionar que durante el ciclo mayo-septiembre del 2020 se reportaron 104.2 mm menos de precipitación pluvial que en el ciclo mayo-septiembre 2021 [24].

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados, se concluye que, bajo condiciones de baja precipitación pluvial, hay un incremento en el RBMV y RBMS cuando se incluye la mis-

ma proporción de estiércol y yeso agrícola, por lo que el yeso juega un papel fundamental para incrementar o mantener un buen rendimiento. Sin embargo, bajo condiciones de mayor precipitación el efecto del yeso se diluye y se observa que el estiércol proporciona mejores resultados. De igual manera las condiciones pluviales tienen un marcado efecto sobre la composición química del forraje verde, pues mejora su calidad aplicando al suelo estiércol y yeso en la misma proporción.

Agradecimiento

Nuestro agradecimiento a la Asociación de la Unidad de Riego Santiago Bayacora del Estado de Durango, A.C., por el apoyo brindado para la realización de este estudio en parcelas agrícolas de sus socios.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Zaragoza. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 101-111.

[2] SIAP. (2020). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.

[3] Coronado, M. G. (2018). Cita recomendada: Trasviña Barriga, A., R. Bórquez Olgún, J. Leal Almanza, L. Castro Espinoza y M. Gutiérrez Coronado. 2018. *Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui*.

[4] Suclupe, M. J. (2018). *Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo*.

[5] SEDESOL. (2012). *Riesgos Naturales del Municipio de Durango 2012. Estado de Durango*.

[6] Verduzco, C. V. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA*, 281-295.

[7] INIFAP. (2014). *Paquete Tecnológico para la Producción de Maíz Forrajero en Chihuahua. Chihuahua Mex.: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*.

[8] Martínez, M. S. (2015). *DISEÑO DE ESCENARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE PREFERENCIAS DECLARADAS (Vol. 5). Chile: Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales*.

[9] INIFAP (2012). *Muestreo de Suelos y preparación de muestras. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, vol. 23*.

[10] CIMMYT. (2012). *Manual de determinación de rendimiento. (CIMMYT, & SAGARPA, Edits.) Mexico*.

[11] Giraldo L, G. (2007). *Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Colombiense de Cienc Pec. , 20(3), 269-279*.

[12] AOAC. 2010. *Official method of Analysis. 18th Ed 3rd Revision. Washington DC, USA. Association of Officiating Analytical Chemists. 2590 p. ISBN: 9780935584820*.

[13] ANKOM. 2018. *RF Gas production system operator's manual. ANKOM Technology, USA. https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/RF_Manual.pdf*.

[14] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. *InfoStat versión. (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar*.

[15] Salazar -Sosa, E., Trejo Escareño, H. I., López Martínez, J. D., Vázquez Vázquez, C., Serrato Corona, J. S., Orona Castillo, I., y otros. (2004). *EFFECTO RESIDUAL DE ESTIÉRCOL BOVINO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ FORRAJERO Y PROPIEDADES DEL SUELO. Durango: FAZ-UJED*.

[16] Pool Novelo, Luciano; Trinidad Santos, Antonio; Etchevers Barra, Jorge D.; Pérez Moreno, Jesús; Martínez Garza, Ángel. (2000) *Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de Chiapas, México Agro ciencia, vol. 34, núm. 3, mayo-junio, 2000, pp. 251-259 Colegio de Postgraduados Texcoco, México*.

[17] Figueroa Viramontes, U., Cueto Wong, J. A., Delgado, J. A., Núñez Hernández, G., Reto Sánchez, D. G., Quiroga Garza, H. M., y otros. (2010). *Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz (Vol. 28). (A. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Ed.) Chapingo, México, México: TERRA*.

[18] García Gonzales E., Diaz Chuquizuta P., Hidalgo Meléndez E., Aguirre Gil O., (2020). *Respuesta del cultivo de maíz a concentraciones de estiércol bovino digerido en clima tropical húmedo vol.17 ed (3): p.203-208*.

[19] Ruiz, R.O; B.F. Beltran; H. salvador; A.G. Rubio; Y. Castillo. 2006. *Valor nutritivo y rendimiento forrajero de híbridos de maíz para ensilaje. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 40(1): 91-96. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017708013*.

[20] Maldonado, s. (1 de enero de 2022). *Recuento El Siglo. EL SIGLO DE DURANGO*.

[21] Amabelia del Pino, Carlos Repetto, Cristina Mori y Carlos Perdomo. PATRONES DEDESCOMPOSICIÓN DE ESTIÉRCOLES EN EL SUELO. 2008. Terra Latinoamericana 26: 43-52.

[22] Uriel González-Salas¹ Miguel Ángel Gallegos-Robles² Cirilo Vázquez-Vázquez² José Luis-García-Hernández² Manuel Fortis-Hernández³ Sarai Shesareli Mendoza-Retana. Productividadde genotipos de maíz forrajero bajo fertilización orgánica y propiedades físico-químicas del suelo. 2018. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas volumen especial número 20:4331-4341.

[23] Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary ber, neutral detergent ver and non starch.polysaccharides in relation to animal nutrition: Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle. Journal Dairy Science. 74:35-83.

[24] CONAGUA. (2021). Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional. DURANGO: CONAGUA.



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Análisis bromatológico de la carne Pez Diablo *Hypostomus plecostomus*, para su aprovechamiento

RESUMEN:

Una de las mayores amenazas para la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos continentales, y para las pesquerías de agua dulce en México, son los llamados peces diablo, también conocidos como pecos, "limpia-peceras" o "limpia-vidrios".

Actualmente, *Hypostomus plecostomus*, conocido como pez diablo, todavía se considera cómo especie invasora.

El presente estudio se realizó en el río Jaltepec a la altura del municipio de Jesús Carranza, Ver., donde se capturaron 50 ejemplares de *H. plecostomus*. El músculo del pez diablo fue utilizado para el análisis bromatológico y la calidad sensorial.

Las muestras del pez diablo contienen un valor considerable de proteína (17.80%), y minerales (4.00%) en base húmeda. El contenido de grasas es de 3.30% y un valor de aporte energético de 140 k cal g⁻¹. Con respecto al análisis sensorial, el 80% del panel de encuestados mencionó que el músculo del pez diablo tiene un sabor agradable.

Debido al alto contenido de proteínas, minerales, y bajos porcentajes en grasa, el músculo del pez diablo puede ser aprovechado para el consumo humano en las comunidades aledañas al municipio de Jesús Carranza.

PALABRAS CLAVE: Especie invasora, pecos, río de Jaltepec, análisis bromatológico, calidad sensorial.



Colaboración

Zaragoza - Villela Eder; Ruíz - Carrión Santa Ines; García - Magaña Hector; Lucho - Constantino Gonzalo Guillermo, Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza

Fecha de recepción: 28 de septiembre de 2021

Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2022

ABSTRACT: Actually, *Hypostomus plecostomus*, known as devil fish is still considered an invasive species.

This study was carried out in the Jaltepec river near the municipality of Jesús Carranza, Ver., where 50 specimens of *H. plecostomus* were captured. Devil fish muscle was used for bromatological analysis and sensorial quality.

Devil fish samples contain a notable value of protein crude (17.80%), and minerals matter (4.00%). The fat content is 3.30% and calories value of 140 k cal g⁻¹.

Regarding the sensorial analysis, 80% of survey respondents mentioned that the muscle of the devil fish has a pleasant taste.

Due to the high content of proteins, minerals, and low percentages of fat, the muscle of the devil fish can be used for human consumption in the communities surrounding the municipality of Jesús Carranza.

KEYWORDS: Invasive species, and devil fish, Jaltepec river, bromatological analysis, sensorial quality.

INTRODUCCIÓN

El pez diablo conocido como *Hypostomus plecostomus*, es una especie íctica originaria del sur de América. Se considera especie invasora que amenaza la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos continentales en México [1].

Para el año 2016 los pescadores reportaron que el 80% de las capturas está representada por el pez diablo [2].

En México, el pez diablo ha tomado como hábitat diferentes cuencas; el primer reporte fue realizado en el río Mezcala [3](Mendoza et al., 2009). En el estado de Veracruz se ha adaptado a diversos ecosistemas y su crecimiento exponencial puede desestabilizar a la comunidad de especies endémicas, así como alterar la estructura del ecosistema [4].

La identificación del pez diablo es confusa, se conocen al menos dos especies del género *Hypostomus* y cuatro del género *Pterygoplichthys* [5].

Se han realizado iniciativas para la implementación de una microempresa procesadora de pez diablo para obtener harina de pescado [2] (Morales et al., 2016), el aprovechamiento gastronómico [6]. y como alimento en criaderos de cocodrilos y zoológicos [7]

Por su elevado contenido de cenizas [8,9](Silv a et al., 2014; Fonseca y Vargas, 2018), proteína y omega-3 [10](CONAPESCA, 2011). Estudios nutrimentales han mostrado que el músculo de *Pterygoplichthys pardalis* presenta 15.3% de proteína lo que implica una viabilidad de ser aprovechado como alimento. Por otra parte, solo se cuenta con el estudio diagnóstico realizado en *H. plecostomus* en el ecosistema de Plan de Ayala donde evaluaron el contenido de metales pesados en músculo, branquias e hígado [11].

Con base a lo anterior, se realizo realizó un análisis de composición bromatológica y, prueba de calidad sensorial del músculo de *H. plecostomus* en el río Jaltepec, Ver., con el fin de tener una perspectiva y proponer la carne de esta especie como alternativa de alimentación humana en el Municipio de Jesús Carranza.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el municipio de Jesús Carranza perteneciente al Estado de Veracruz, Colinda al norte con Sayula de Alemán, al este con Uxpanapa; al sur con el estado de Oaxaca; al oeste con y el municipio de San Juan Evangelista.

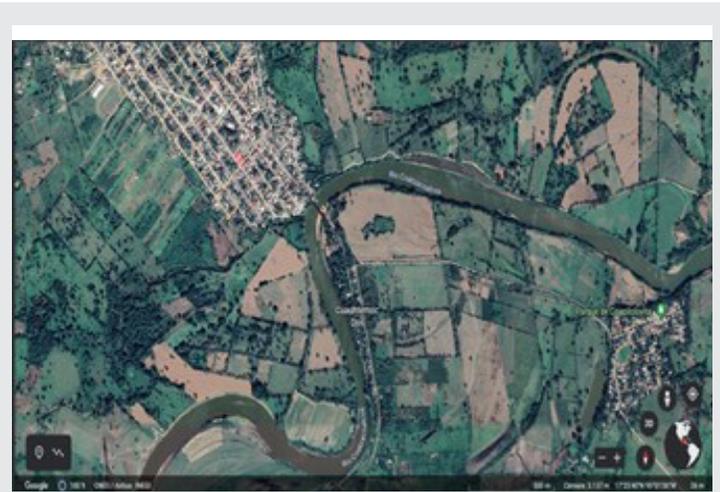


Figura 1. Ubicación satelital del río Coatzacoalcos (Jaltepec), municipio de Jesús Carranza, Ver.

Área de recolecta

La zona de muestreo se encuentra ubicada en el río Jaltepec a la altura del municipio de Jesús Carranza, Ver., ubicado en las coordenadas 17° 11' y 17° 35' de latitud norte; los meridianos 94° 39' y 95° 13' de longitud oeste; altitud entre 10 y 200 m (Figura 1).

Preparación del material biológico

Se capturaron 50 ejemplares de *H. plecostomus*, los cuales fueron transportados en termos a 4°C hasta el laboratorio de la Universidad de Papaloapan Campus Tuxtepec para la realización de los estudios bromatológicos. Una vez en el laboratorio, se determinó el peso y la longitud de cada ejemplar. Una vez pesados y medidos, a los ejemplares con un peso de 1000 g y una longitud total de 40 y 45 cm se les realizó una incisión ventral en plano sagital para separar el músculo y determinar la proporción del peso total.

Análisis bromatológico de la carne del pez diablo

Con la finalidad de conocer el aporte nutrimental de la carne del pez diablo se realizó el análisis bromatológico que incluyó: humedad (NOM-116-SSA1-1994), cenizas (Método Gravimétrico NMX-F-607-NORMEX-2013), grasa (Método de Soxhlet NOM-086-SSA1-1994), proteína cruda (Método Kjeldahl NMX-F-608-NORMEX-2011) carbohidratos totales (Método fenol – sulfúrico), aporte calórico (por cálculo).

Prueba de Humedad

Se tomaron 250 g de la carne del pez diablo para realizar la determinación de humedad según la Norma Oficial Mexicana NOM-116- SSA1-1994.

Prueba de cenizas

Para realizar esta prueba se utilizó de 3 a 5 g y las cenizas se determinaron por el Método Gravimétrico de acuerdo a la norma NMX-F-607-NORMEX-2013.

Prueba de Grasa

El porcentaje de grasas fue determinado por el método de Soxhlet a partir de 1 a 2 g de muestra finamente molida [12].

Pruebas de proteínas

La determinación de proteínas fue mediante el método [13]. Se peso de 0,1 a 1,0 g de muestra, hasta un máximo de 2 g.

Carbohidratos totales

La determinación de carbohidratos totales se realizó de acuerdo al método establecido por [14]. La medición se realizó utilizando una longitud de onda de 490 nm.

Se calculo la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra a partir de una curva patrón con un intervalo de 10-100 g de glucosa/ml, considerando cinco concentraciones.

Aporte calórico

Para conocer el aporte energético de la carne, se realizó el cálculo siguiendo el procedimiento propuesto por la FAO [15].

Se realizó una conversión de factor considerando los siguientes nutrientes: carbohidratos 4 kcal/g, proteína 4 kcal/g y grasas 9 kcal/g. La suma total de la conversión de estos nutrientes corresponde al aporte calórico.

Método de evaluación sensorial de la carne del pez diablo.

Para conocer las características de sabor de la carne, esta se sometió a cocción en agua con sal. La calidad sensorial de la carne fue evaluada por un grupo de 130 personas. El formato de evaluación fue representado con una escala de Linkert de cinco opciones, con un valor ascendente de 0, 2.5, 5, 7.5 y 10. Donde 0 es desagradable, 2.5 poco desagradable, 5 neutral, 7.5 agradable y 10 muy agradable. Los resultados son presentados en gráficos de tipo radial.

RESULTADOS

Características bromatológicas de la carne del pez diablo.

Para conocer la calidad nutricional del pez diablo, se procedió a realizar el análisis bromatológico.

Los resultados se muestran en la Tabla 1. El análisis demostró que el pez diablo, es una especie rica en proteína con un valor de 17.80%, y 4.00% de minerales en el músculo. Según Mohanty [16], el contenido de proteína cruda del musculo del pescado oscila entre un 17 a 20%. Similares valores de proteína, y minerales han sido encontrados en músculo de *H. plecostomus* [1-11] y en otras especies como *P. pardalis* [17]. La grasa es el nutriente más abundante en

los pescados azules. En este estudio se encontró que *H. plecostomus* presenta 3.30% de grasa en el músculo con un valor energético de 140 Kcal g⁻¹ lo que implica que es más energético que otras especies de pescado blanco.

Tabla 1. Análisis bromatológico del músculo del pez diablo (*Hypostomus plecostomus*) en base húmeda.

Muestra	Humedad %(g 100 g ⁻¹)	Cenizas %(g 100 g ⁻¹)	Grasa %(g 100 g ⁻¹)	Proteína cruda %(g 100 g ⁻¹)	Carbohidratos totales %(g 100 g ⁻¹)	Aporte calórico (kcal / 100 g)
Carne de pez diablo	62.60	4.00	3.30	17.80	9.80	140.00

De acuerdo al contenido nutrimental obtenido, *H. plecostomus* podría ser aprovechado en la alimentación humana y animal, esta última como ingrediente de alimento balanceado de Tilapias.

Calidad sensorial de la carne del pez diablo (*H. plecostomus*)

El análisis de calidad sensorial (Figura 2) mostró que el 80% (104 personas) del grupo de personas encuestadas considero que la carne de *H. plecostomus* tiene un sabor agradable y el 7.69% sabor muy agradable con dulzor apenas perceptible y notas minerales.

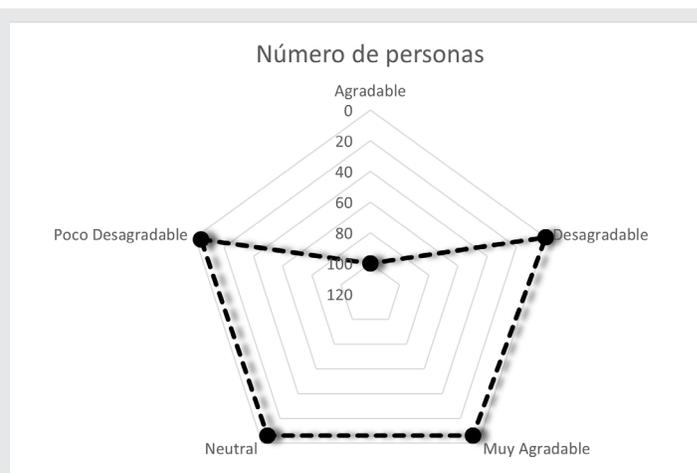


Figura 2. Calidad sensorial de la carne del pez diablo (*Hypostomus plecostomus*).

CONCLUSION

El análisis bromatológico indica que la carne de pez diablo por su bajo contenido en grasas, rica en minerales y, el alto aporte proteico, puede ser considerada una alternativa de alimentación en las comunidades aledañas al municipio de Jesús Carranza.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Jesús Carranza por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Agradecemos a la Universidad de Papaloapan Campus Tuxtepec por el apoyo en la realización de los análisis bromatológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ayala-Pérez, L.A. B.I. Vega-Rodríguez, G.J. Terán-González y G.E. Martínez-Romero. (2015). *El pez diablo en México: Guía para administradores y usuarios de recursos pesqueros*. Casa abierta al tiempo Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.
- [2] Morales, J., A. Vidal y B. Pérez. (2016). "El aprovechamiento de potencialidades locales: la creación de una microempresa procesadora de pez diablo (*Hypostomus Plecostomus*) en Jalpa de Méndez, Tabasco, México". *Revista Internacional de Economía y Gestión de las Organizaciones*, 3(2).
- [3] Mendoza R., Coudmore B., Orr R., Fisher J., Contreras S., Courtney W., Koleff P., Mandrak N., Álvarez P., Arroyo M., Escalera C. Guevara A., Greene G., Lee D., Orbe-Mendoza A., Ramírez C. & Stabridis O. 2009. *Trinational Risk Assessment Guidelines for Aquatic Invasive Species: Test Cases for Snake heads (Channidae) and Armored Catfishes (Loricariidae) in North American Inland Waters*. Commission for Environmental Cooperation (J. Fisher ed.), Montreal, Canada, 98 p.
- [4] Castillo-Capitán G. (2014). *Dinámica poblacional del pez invasor del género *Pterygoplichthys* en la cuenca de Chacalapa (cuenca de Coatzacoalcos) Veracruz, México*. *Revista Biológico Agropecuario Tuxpan*, 2(3): 503-507.
- [5] Mendoza R., Contreras S.R.C., Koleff P., Álvarez P. & Aguilar V. 2007. *Los peces diablo: especies invasoras de alto impacto*. *Biodiversitas*, 70: 1-5.
- [6] Álvarez-Pliego, N., ++A. Sánchez., R. Florido y M. Salcedo. (2008) "First record of South American suckermouth armored catfishes (*Loricariidae*, *Pterygoplichthys* spp.) in the Chumpan River system, southeast Mexico". *BiolInvasions Records*, 4(4), 309-314, 2015. AOAC. "Official methods of analytical chemists". Arlington: Association of Official Analytical Chemists Inc. 2000. Arroyo, D. "Aprovechamiento de la harina de *Plecostomus* spp. Como ingrediente en alimento para el crecimiento de tilapia (*Oreochromis niloticus*)". Tesis de Maestría en Ciencias. IPN-CIIDIR Michoacán. 100 p,
- [7] Velázquez, E., J. López y E. Romero. (2017). "El pez diablo: especie invasora en Chiapas". *Lacandonia*, 7(1), 99-104. Consultado de <https://cuid.unicach.mx/revistas/index.php/lacandonia/article/view/315>
- [8] Silva, J. F. X., K. Ribeiro., J. Silva., T. Cahú y R. Bezerra. (2014). "Utilization of tilapia processing waste for the production of fish protein hydrolysate". *Animal feed science and technology*, 196, 96-106.
- [9] Fonseca, H. R Y P. Vargas. A. 2018. *Estudio de factibilidad del aprovechamiento económico de una especie invasora *Hypostomus plecostomus* en el humedal de Caño Negro, Costa Rica*. *Rev. Mar. Cost. Vol. 10 (2): 31-49*.
- [10] CONAPESCA. (2011). *Anuario Estadístico De Acuacultura y pesca-SAGARPA*.
- [11] Ramírez-Albores, E.O., Méndez-Lau, N., Castañon-González, J.H., Lagunas-Rivera, S.,-Farrera-Alcázar, R., Rosales-Quintero, A., Villalobos-Maldonado, J.J. 2018. *¿Es comestible el pez diablo (*Hypostomus Plecostomus* L.), que habita en el ecosistema de Plan de Ayala, Ostuaacán, Chiapas?*. *Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 12, pp: 85-90*.
- [12] Virof, M., Tomao, V., Colnagui, G., Visinoni, F., & Chemat, F. (2007). *New microwave-integrated Soxhlet extraction. An advantageous tool for the extraction of lipids from food products*. *Journal of Chromatography*. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.09.067>.
- [13] Norma Mexicana NMX-F-608-NORMEX-2011 *Alimentos-Determinación De Proteínas En Alimentos-Método De Ensayo (Prueba)*. Cuya Declaratoria De Vigencia Fue Publicada En El Diario Oficial De La Federación El 12 De Septiembre De 2011.
- [14] Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A & Smith, F. (1956). "Colorimetric method for determination of sugars and related substances", *Analytical Chemistry*, 28, 3, 350-356.
- [15] FAO. 2003. *Food energy-methods of analysis and conversion factors. Report of a Technical Workshop. Food and nutrition paper 77.*, Rome.
- [16] Mohanty, B. P., Mahanty, A., Ganguly, S., Mitra, T., Karunakaran, D., & Anandan, R. (2019). *Nutritional composition of food fishes and their importance in providing food and nutritional security*. *Food chemistry*, 293, 561-570.
- [17] Castañeda Valbuena D., Castro Flórez Y., Ovando Chacón S. L. (2019). *Pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*): ¿Una plaga con potencial para el aprovechamiento agroindustrial*. *Academia Journals*. Vol. 11, No. 5.



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Efecto de metales pesados sobre la germinación de las semillas de Chumpipe (*Gonolobus niger*)

RESUMEN: En el presente trabajo se determinó el efecto toxicológico y la fitotolerancia de algunos metales pesados (MP) sobre la germinación de semillas de Chumpipe (*Gonolobus niger*), arbusto trepador de crecimiento silvestre del estado de Veracruz, México.

Los MP evaluados fueron cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cromo ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), níquel (NiSO_4); zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y mercurio (HgCl_2) a concentraciones crecientes. Se empleó la técnica de papel húmedo bajo un diseño de bloques y se incubaron bajo condiciones ambientales de iluminación y temperatura.

El cobre presentó toxicidad moderada. El cromo afectó el desarrollo de la raíz a partir de concentraciones superiores a 235 ppm. El níquel mostró un comportamiento dual, a bajas concentraciones favorece el desarrollo de las plántulas; a altas concentraciones presentó un efecto adverso. El zinc a concentraciones bajas no muestra toxicidad, sin embargo esta aumenta en función de la concentración. El mercurio mostró la mayor toxicidad, afectando severamente la germinación y el crecimiento de la plántula a partir de concentraciones superiores de 27 ppm. Se reporta una moderada tolerancia a cobre, zinc y mercurio.

PALABRAS CLAVE: Chumpipe, *Gonolobus niger*, metales pesados, fitotoxicidad.



Colaboración

Jesús Bello Palomino; Gabriel Grosskelwing Núñez; Rubén Enrique Cuevas Alarcon; Luis Mejía Macario; Arturo Cabrera Hernández, TecNM: Instituto Tecnológico Superior de Misantla

Fecha de recepción: 10 de septiembre de 2022

Fecha de aceptación: 07 de noviembre de 2022

ABSTRACT: In the present work, the toxicological effect and phytotolerance of some heavy metals (MP) on seeds of Chumpipe (*Gonolobus niger*), a wild-growing climbing shrub from the state of Veracruz, Mexico, was determined.

The MPs evaluated were copper ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), chromium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), nickel (NiSO_4); zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) and mercury (HgCl_2) at increasing concentrations. The wet paper technique was used under a block design and they were incubated under environmental lighting and temperature conditions.

Copper presented moderate toxicity. Chromium affected root development from concentrations above 235 ppm. Nickel showed a dual behavior, at low concentrations it favors the development of seedlings; at high concentrations it presented an adverse effect. Zinc at low concentrations does not show toxicity, however it increases as a function of concentration. Mercury showed the highest toxicity, severely affecting germination and seedling growth from concentrations above 27 ppm. A moderate tolerance to copper, zinc and mercury is reported.

KEYWORDS: Chumpipe, *Gonolobus niger*, heavy metals, phytotoxicity.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial para la vida de los seres vivos, siendo indispensable en la naturaleza y en las actividades económicas, agrícolas, industriales y de salud humana, cuya demanda aumenta de manera acelerada mientras su disponibilidad es limitada [1]. El uso indiscriminado e irresponsable, así como el agotamiento de las reservas acuíferas asociados al cambio climático y la contaminación de las fuentes naturales ha comprometido severamente el acceso a este vital líquido. Esta situación se agrava en países en vías de desarrollo, donde la gestión, protección, monitoreo y legislación del agua es deficiente, ocasionando la degradación en la calidad y la contaminación de esta [2].

Diversos contaminantes de tipo biológico, orgánico e inorgánico asociados a lixiviados de vertederos o efluentes de aguas residuales industriales o

agrícolas, comprometen la calidad del agua. Los contaminantes inorgánicos incluyen pigmentos, álcalis, minerales, ácidos, cianuros, fluoruros y metales pesados liberados por residuos electrónicos, minería, industria metal-mecánica, agricultura, etc. [3]. El término "metales pesados" se aplica a un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta, tóxicos o venenosos incluso a baja concentración y con una alta solubilidad en agua. Se ha detectado al Cd, Cr, Cu, Ni, As, Pb y Zn como los MP más dañinos al medio ambiente, bioacumulándose en animales y plantas a través de la cadena alimenticia [4].

La toxicidad en las plantas varía en relación a la especie de planta, al tipo de MP, concentración, estado de oxidación y pH, los cuales pueden ser absorbidos por las plantas a través de sistemas convencionales de transportadores de metales [5]. Diversos estudios se han enfocado en estudiar la interacción de plantas de interés agrícola con los MP, sin embargo, un gran número de plantas silvestres endémicas no se ha determinado cual es el efecto de los MP en ellas.

El Chumpipe (*Gonolobus niger*) es un arbusto trepador de crecimiento silvestre que se distribuye desde el sur de México y Centroamérica hasta el norte de Sudamérica. De acuerdo a la región se le denomina Talayote o Cahuyote (Sur de México), Chuchamber (Guatemala y El Salvador), Cuayote o Gallinita (Costa Rica), Chinchayote (Nicaragua), etc. Su fruto es fusiforme, de color verde claro al madurar, con una longitud de entre 10-12 cm. Los frutos maduros contienen en su interior una gran cantidad de semillas con un característico mechón de pelos que les permiten dispersarse a través del viento [6].

En algunas regiones el fruto es comestible, una vez que se ha eliminado el látex. Dulces y conservas son elaborados con el fruto maduro. En diversos pueblos de la Cuenca de Papaloapan y del Coatzacoalcos se consume la raíz como agente espumante de una bebida tradicional denominada "Popo". La medicina tradicional le confiere propiedades para tratar una enfermedad de transmisión sexual [7].

En el presente proyecto evaluamos los efectos de algunos MP sobre las etapas más sensibles del desarrollo de una planta, la germinación de semillas y crecimiento de plántula de *G. niger*.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los frutos de Chumpipe fueron recolectadas de plantas de aspecto saludable en la zona rural de la ciudad de Misantla. Se eligieron frutos maduros bajo el criterio del cambio de coloración de verde a amarillo claro en la corteza del fruto. Los frutos recolectados se transportaron inmediatamente al Laboratorio de Investigación Avanzada de Veracruz (LIAV), y se conservaron en bolsas de papel dentro de un recipiente de vidrio a

temperatura ambiente hasta la apertura natural del fruto, proceso que libera las semillas que se emplearon en este estudio.

Para evaluar el efecto de MP en la germinación se seleccionaron sales de cinco MP: cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cromo ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), níquel (NiSO_4), zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y mercurio (HgCl_2), evaluando cinco concentraciones crecientes para cada metal pesado. Como control negativo se empleo agua destilada en un diseño en bloques al azar.

Acondicionamiento de las semillas

Las semillas fueron sanitizadas con una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 10 minutos y se enjuagaron 3 veces con agua destilada. Lotes de semillas se sumergieron durante 24 hrs en cada una de las soluciones de MP, previo a colocarse en los contenedores de germinación. Este se considero el punto inicial para el estudio de dicha variable.

Experimentos de germinación

Los experimentos fueron realizados en las instalaciones del Tecnológico de Misantla, Veracruz, México; bajo condiciones ambientales de iluminación y temperatura, durante los meses de octubre y noviembre del 2019. Se aplicó la técnica de papel húmedo donde a contenedores de plástico de 11 cm de diámetro se les colocó como soporte círculos de papel filtro, el cual fue humedecido con 15 ml de las distintas soluciones para cada tratamiento de MP aplicado [8]. 25 semillas se colocaron sobre el papel filtro de manera uniforme y distribuidas espacialmente de manera homogénea. El ensayo se realizó por triplicado y como control negativo se empleo agua purificada. El diseño de experimentos por bloques se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Protocolo de germinación de semillas de *G. niger* bajo estrés abiótico por metales pesados.

Metales	Control	Trat 1 (ppm)	Trat 2 (ppm)	Trat 3 (ppm)	Trat 4 (ppm)
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Agua destilada	269	318	367	416
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$		177	235	294	353
NiSO_4		155	464	774	1,083
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		280	841	1,402	1,963
HgCl_2		27	81	136	190

Se aplicó un régimen de riego ajustado para mantener el nivel de agua que se perdió por evaporación. Se registro diariamente el número de semillas germinadas de cada contenedor durante 7 días.

Biometría de las plántulas

Al día siete se efectuaron las mediciones de la longitud de tallo y longitud de la raíz de cada plántula crecida bajo los diferentes tratamientos. Además, empleando

una balanza analítica, se pesó la raíz y el tallo de cada plántula. Los datos obtenidos se registraron en un archivo digital a fin de realizar las pruebas estadísticas.

Análisis estadísticos

Para el análisis de datos se utilizó el programa de EXCEL® 2016. Los datos de los diferentes tratamientos se analizaron para evaluar la calidad de los mismos y verificar la presencia de datos atípicos. Se comprobó la normalidad de los datos aplicando la prueba de Shapiro-Wilks y la homocedasticidad con la prueba de Levene. Para encontrar diferencias significativas entre medias obtenidas entre del control y al menos una de las diferentes concentraciones aplicadas, se realizó un análisis estadístico tipo ANOVA ($p < 0.05$). Como prueba post-hoc se aplicó la prueba de Tukey para determinar significancia en las diferencias de medias, las cuales se señalan en la parte superior de cada barra. Letras iguales indican que no hubo diferencia significativa.

RESULTADOS

Resultados del efecto toxico de MP en la germinación de semillas de *G. niger*.

Los efectos de las concentraciones crecientes de cobre, cromo, níquel, zinc y mercurio sobre el porcentaje de germinación de *G. niger* se presenta en la Figura 1. Para el cobre, la germinación de semillas de *G. niger* presento un ligera disminución no significativa en el porcentaje de germinación a todas las concentraciones evaluadas, mostrando tolerancia a este metal para germinar hasta 416 ppm de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Comparativamente, estudios previos realizados en semillas de *Lens culinaris* mostraron que a 100 ppm se presenta una disminución del 50% en el porcentaje de germinación [9]. En otro estudio realizado en *Triticum aestivum*, se reporta que a concentraciones mayores a 100 ppm disminuye 60% la germinación, efecto relacionado a la actividad de la enzima peroxidasa [10]. En contraste, *G. niger* no mostró una disminución significativa a concentraciones de 460 ppm, lo cual demuestra que durante la germinación, presenta una alta resistencia a concentraciones de cobre.

En el caso del cromo, la germinación disminuye aproximadamente 30% con relación al control negativo, aunque no es significativa, lo cual sugiere baja tolerancia de la semilla de *G.niger* a germinar frente al estrés químico de cromo.

Estudios previos en *Vigna radiata* L., *Trigonella foenum-graceum* L., *Pennis etum glaucum* L., *Sorghum vulgare* L *Oryza sativa* L mostraron que estas especies presentan una disminución drástica del 50% y a partir de los 200 ppm se reduce al 50%, [11]. Semillas de trigo, cebada, centeno y avena son altamente susceptibles al cromo, y a concentraciones menores a 100 ppm, presentan disminuciones severas en la germinación [12], comportamientos similares al que presentó *G.niger*.

El efecto del níquel sobre la germinación de semillas de *G. niger* mostró una disminución no significativa a concentraciones de 155 y 464 ppm, sin embargo a la concentración de 774 ppm se mostró una severa reducción superior al 95% en el porcentaje de germinación y a concentraciones de 1083 ppm en adelante, la germinación es totalmente inhibida. Este comportamiento es similar a los reportados previamente para otras semillas; mientras a baja concentración no se afecta la germinación, al incrementar la concentración a 150 ppm de níquel, se observa una inhibición del 50% para semillas de trigo, cebada, avena, colza y zanahoria [12]; mientras que para diversas variedades de trigo, la germinación se inhibe entre un 20 y un 40%. a concentraciones de 75 ppm [13]. En general, todas estas semillas observan comportamientos similares al mostrado por *G. niger*.

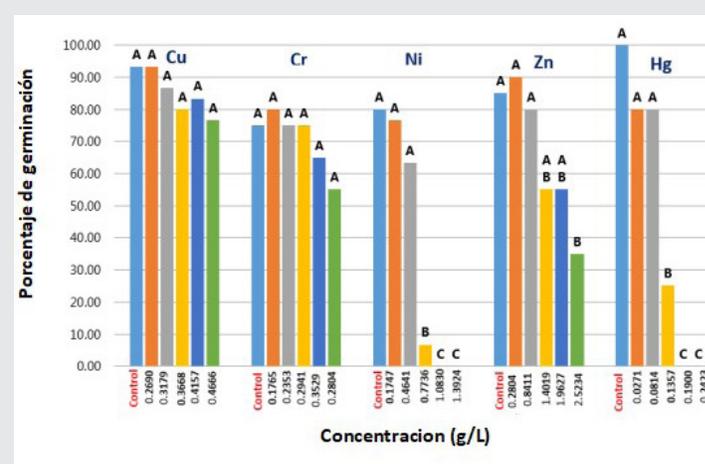


Figura 1. Efecto de metales pesados sobre el porcentaje de germinación de *G. niger*. Se presentan los valores promedio del porcentaje de germinación de tres replicas en presencia de concentraciones crecientes de los metales pesados evaluados. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 269, 318, 367, 416 y 465 ppm, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 177, 235, 294, 353 y 412 ppm, NiSO_4 ; 155, 464, 774, 1083 y 1392 ppm, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 280, 841, 1402, 1963 y 2523 ppm y HgCl_2 ; 27, 81, 136, 190 y 244. Las diferencias significativas se indican en la parte superior de cada barra, letras similares indican que no hubo diferencia significativa $p < 0.05$.

Para el zinc se observa que al aumentar la concentración disminuye el porcentaje de germinación; a concentraciones bajas de 280 y 841 ppm el efecto toxico no es significativo, a 1402 y 1963 ppm el efecto es significativo, y a 2523 ppm la germinación se reduce en un 75%. Estudios comparativos de diferentes especies incluyendo *Vigna unguiculata*, *Cassia angustifolia*, y *Glycine maxsimar* presentan comportamientos similares en la germinación, sin embargo *G.niger* presenta una mayor tolerancia a germinar en concentraciones mayores de este metal [14].

El mercurio es uno de los metales pesados con mayor capacidad de dañar la naturaleza. y cada vez hay más evidencias que demuestran que puede acumularse

fácilmente en las plantas acuáticas y superiores [15]. Por lo que se decidió incluir a este metal en el presente estudio.

A concentraciones de 27 y 81 ppm no se observó diferencia significativa, pero a 136 ppm la germinación disminuyó en un 70%, y a 190 y 244 ppm se inhibió completamente. Similar comportamiento ha sido reportado para otras semillas incluyendo *Vigna ambacensis* L, con tolerancia de hasta 27 ppm y nula germinación a 270 ppm [16]

Efecto de cobre sobre el peso y longitud de la raíz y tallo de *G. niger*.

A fin de determinar algún efecto fitotóxico subletal crónico o agudo significativo que interfiera en el desarrollo normal de la plántula, se realizaron análisis comparativos de los pesos de raíz y tallo (Figura 2) así como longitud de tallo y raíz (Figura 4) en ausencia y presencia de las concentraciones de MP propuestas. Cada barra representa el promedio de cada una de las variables de respuesta y las diferencias significativas se indican con letras mayúsculas en la parte superior de cada barra.

El cobre, un micronutriente esencial para el crecimiento de la planta, presentó un efecto de disminución significativa del peso del tallo en alrededor del 30% a todas las concentraciones evaluadas, mientras en raíz alcanzo un 50%, lo cual sugiere la pérdida de biomasa en la raíz como la actividad fisiológica más afectada por la presencia de cobre, aunque es independiente de la concentración evaluada. Para la longitud del tallo, se observa un comportamiento similar, con una disminución de la longitud de tallo en un 40% y la radícula en un 66% con respecto al control, pero entre tratamientos no existe diferencia significativa.

Nuestras observaciones son concordantes con el comportamiento de estas variables en estudios previos para plántulas de *Trigonella foenum-graceum* L., *Lens culinaris* y *Triticum aestivum* [9,10], los cuales han sido asociados a la formación de especies reactivas de oxígeno, alteraciones en la absorción de nutrientes esenciales, así como oxidación de lípidos de membrana [17], sin embargo *G.niger* tolera concentraciones relativamente más altas de cobre sin disminuir severamente la longitud y el peso de la raíz y tallo, lo cual sugiere la presencia de algún mecanismo de tolerancia, propiedad que sugiere un potencial uso en estudios de fitoremediación de suelos contaminados con cobre.

Efecto de cromo sobre el peso y longitud de la raíz y tallo de *G. niger*.

En el desarrollo del tallo bajo estrés abiótico por cromo, a la menor concentración de 177 ppm existe una disminución no significativa con respecto al con-

trol, pero a partir de la segunda concentración, esta disminución es significativa y se mantiene alrededor del 50% y es similar en el resto de los tratamientos, sin embargo para el peso de la raíz el efecto fue severo y provoco una reducción del 90% en todos los tratamientos. Los efectos fueron proporcionales para las variables de salida del peso y la longitud de la raíz y el tallo.

En diversos estudios se ha reportado que el cromo ejerce efectos severos del desarrollo radicular y en menor grado del tallo, efecto que ha sido asociado a estrés oxidativo y alteraciones en la absorción del agua [18]. *G niger* mostró una tolerancia similar al reportado para tallo y raíz en diversas especies vegetales [11].

Efecto de níquel sobre el peso y longitud de la raíz y tallo de *G. niger*.

En el caso de níquel se observo un efecto dependiente de la concentración, tanto en peso como en la longitud de raíz y tallo de las plántulas. El desarrollo radicular es la parte más sensible de la plántula. Así, a concentraciones de 155 ppm, el peso del tallo no muestra diferencias significativas con el control negativo, mientras que para la raíz, su crecimiento disminuye en alrededor del 40%. Un efecto similar se observa para la longitud de tallo. A concentraciones mayores de 774 ppm se observa una disminución en ambas variables, y a concentraciones mayores de 1083 ppm el efecto es letal.

Diferentes estudios han demostrado el efecto tóxico del níquel sobre la masa húmeda de la planta, con un comportamiento dependiente de la dosis que origina cambios morfológicos y bioquímicos asociados a alteraciones en la fotosíntesis, respiración, asimilación y transporte mineral, equilibrio hídrico y estrés oxidativo [19,20, 21].

Estudios en *V. bombyciferum* encontraron que a concentraciones de 272 y 679 ppm el tallo no presenta diferencias significativas respecto al control, pero con valores superiores a 679 ppm el desarrollo es sobre el tallo, aunque a concentraciones más elevadas, el efecto se observa en ambos órganos y a concentraciones superiores el efecto es letal. Comportamiento similar al presentado por *G. niger*.

Efecto de zinc sobre el peso y longitud de la raíz y tallo de *G. niger*.

El efecto del zinc en el peso y la longitud de tallo y raíz reporto mayor susceptibilidad en la raíz al efecto de este MP. A concentraciones menores de 841 ppm, *G. niger* sufre una pequeña reducción no significativa, conforme la concentración se incrementan a 841, 1402, 1963 ppm, las diferencias presentes son significativas, alcanzado un 80-90% de inhibición en la raíz a 2523 ppm.

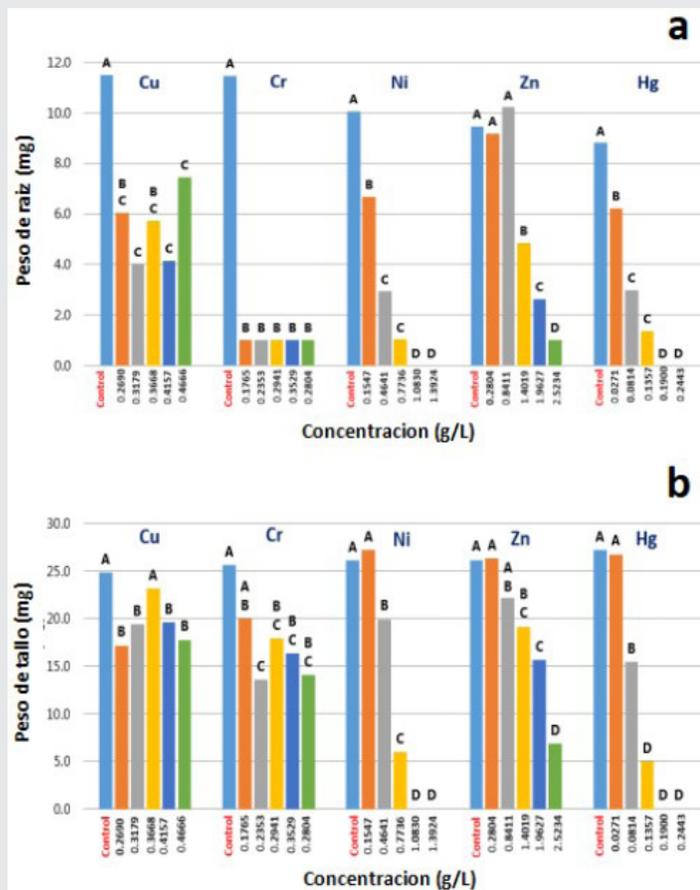


Figura 2. Efecto de metales pesados sobre el peso de raíz y tallo en *G. niger*. En grafica de barras se presentan los promedios del peso de raíz (a) y tallo (b) a concentraciones crecientes de los MP evaluados. Las concentraciones de cada metal: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 269, 318, 367, 416 y 465 ppm, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 177, 235, 294, 353 y 412 ppm, NiSO_4 ; 155, 464, 774, 1083 y 1392 ppm, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 280, 841, 1402, 1963 y 2523 ppm y HgCl_2 ; 27, 81, 136, 190 y 244. Las diferencias significativas se indican en la parte superior de cada barra, letras similares indican que no hubo diferencia significativa $p < 0.05$.

Los efectos de zinc involucran cambios en la arquitectura celular de la raíz, disminución en proliferación celular y daño en las células de los extremos terminales de la raíz, así como un incremento de especies reactivas de oxígeno. Diversos estudios en una variedad de plantas que incluyen *Trigonella foenum-graceum* L, *Triticum aestivum* L, *Medicago sativa* L., así como otras especies, reportan similar comportamiento a pesar de las diferencias en los diseños experimentales aplicados [22,23], sin embargo *G. niger*, presenta tolerancia a concentraciones superiores a las reportadas en estos estudios, lo que la ubica como candidata potencial para estudios de biorremediación de suelos contaminados por zinc.

Efecto de mercurio sobre el peso y longitud de la raíz y tallo de *G. niger*.

El mercurio presento efecto significativo en el peso

y longitud de tallo y raíz dependiente de la dosis, con excepción del peso y longitud del tallo a los 27 ppm. Esta disminución drástica del peso y la longitud a las demás concentraciones, corrobora la naturaleza tóxica de este metal reportada en diversos estudios previos y los efectos nocivos sobre los seres vivos.

La toxicidad de mercurio ha sido asociada a cambios en la permeabilidad de la membrana, cambios en la reactividad de grupos sulfidrilo, gran afinidad por ADP o ATP y el reemplazamiento de iones esenciales. [21]

Sin embargo, *G. niger* tolera concentraciones ligeramente más altas que las reportadas para otras especies y será necesario un mayor estudio para determinar los mecanismos que presenta esta semilla para resistir concentraciones moderadamente altas de mercurio.

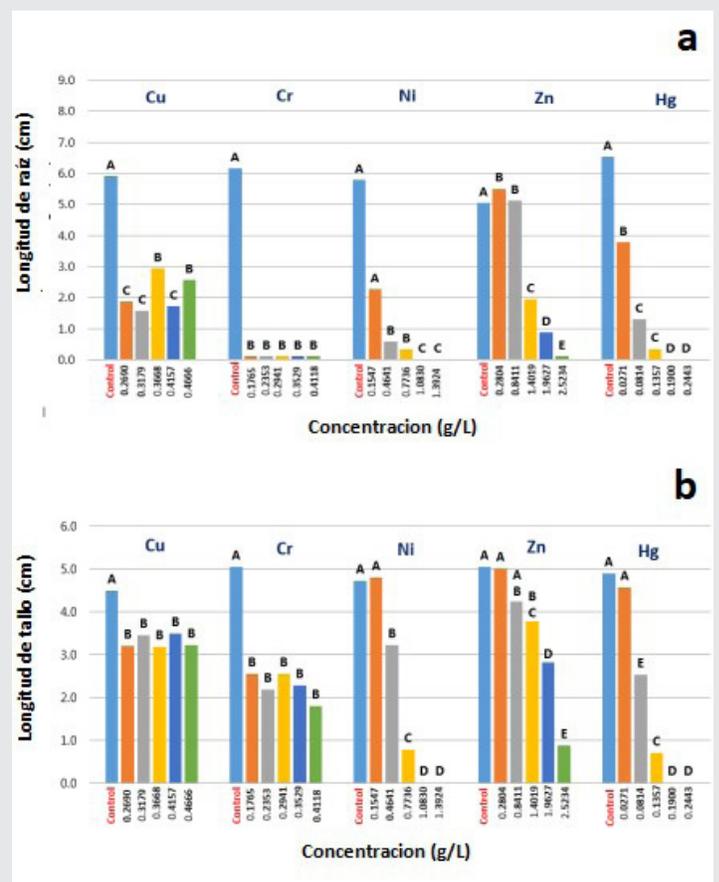


Figura 3. Efecto de metales pesados sobre la longitud de raíz y tallo en *G. niger*. En grafica de barras se presentan los promedios de la longitud de raíz (a) y tallo (b) a concentraciones crecientes de los MP evaluados. Las concentraciones de cada metal: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 269, 318, 367, 416 y 465 ppm, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 177, 235, 294, 353 y 412 ppm, NiSO_4 ; 155, 464, 774, 1083 y 1392 ppm, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 280, 841, 1402, 1963 y 2523 ppm y HgCl_2 ; 27, 81, 136, 190 y 244. Las diferencias significativas se indican en la parte superior de cada barra, letras similares indican que no hubo diferencia significativa $p < 0.05$.

CONCLUSIONES

Las semillas de *G. niger* mostraron cierta tolerancia a la germinación frente a diferentes concentraciones de Cu, Cr y Zn, sin embargo los efectos fueron severos para los MP Ni y Hg.

El cobre compromete el desarrollo radicular de *G. niger* a concentraciones de 269 a 412 ppm, en forma independiente de la concentración en *G. niger*. El cromo no afecta la germinación de la semilla, sin embargo, en la plántula los efectos son severos, disminuyendo la longitud de tallo y raíz.

El zinc afecta la germinación en forma dependiente de la concentración. *G. niger* es susceptible a los metales pesados mercurio y níquel en forma dependiente de la concentración, sin embargo presenta una tolerancia moderada a mercurio.

G. niger es una planta con potencial para ser evaluada en estudios de fitoremediación de suelos contaminados con Cu, Cr y Zn.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Kılıç, Z. (2020). *The importance of water and conscious use of water*. *International Journal of Hydrology*, 4(5): 239-241.

[2] Emile, R., Clammer, J. R., Jayaswal, P., & Sharma, P. (2022). *Addressing water scarcity in developing country contexts: a socio-cultural approach*. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1): 1-10.

[3] Sharma, R., Agrawal, P. R., Kumar, R., & Gupta, G. (2021). *Current scenario of heavy metal contamination in water*. *Contamination of Water*, 49-64.

[4] Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). *Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review*. *Environmental Chemistry Letters*. 8(3): 199-216.

[5] Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). *Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management*. *Environment International*, 125: 365-385.

[6] Lascurain, M., Avendaño, S., Aníbal, A., & Niembro, A. (2010). *Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz (Fondo Sect)*.

[7] Hernández-Domínguez E., F.J. Gabino R. F.J., H.P. Medorio G. H. P., Ortega M. A.C., Nila-Méndez A.G. (2020) *Potencial biotecnológico del cultivo in vitro de Gonolobus niger, componente de bebida prehispánica denominada "Popo"*. *Journal Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*. Vol. 8, Núm. 1

[8] Jeromini, T. S., Muniz, R. A., Silva, G. Z. D., & Martins, C. C. (2019). *The envelope method and substrate wetting in the germination test of onion seeds*. *Revista Ciência Agronômica*. 50: 169-176.

[9] Iqbal, M. Z., Nayeb, S., & Shafaq, M. (2018). *Effects of copper on seed germination and seedling growth performance of Lens culinaris Medik*. *Journal of Plant Development*, 25: 85.

[10] Singh D, Nath K and Sharma YK (2007). *Response of wheat seed germination and seedling growth under copper stress*. *Journal Environmental Biology*. 28:409-414.

[11] Joshi N, Menon P, Joshi A. (2019) *Effect of chromium on germination in some crops of India*. *J Agric Sci Bot*. 3(1):1-5.

[12] Pokorska-Niewiada, K., Rajkowska-Myśliwiec, M., & Protasowicki, M. (2018). *Acute lethal toxicity of heavy metals to the seeds of plants of high importance to humans*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 101(2): 222-228.

[13] Shweti, Ashok Kumar and JS Verma (2018). *Effects of nickel chloride on germination and seedling growth of different wheat (Triticum aestivum L. em Thell.) cultivars*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(4): 2227-2234.

[14] Balafrej, H., Bogusz, D., Triqui, Z. E. A., Guedira, A., Bendaou, N., Smouni, A., & Fahr, M. (2020). *Zinc hyperaccumulation in plants: A review*. *Plants*. 9(5): 562.

[15] Israr M, Sahi S, Datta R, Sarkar D (2006) *Bioaccumulation and physiological effects of mercury in Sesbania drummonii*. *Chemosphere*. 65:591-598.

[16] Mohammed nasser and Al-yemeni (2001). *Effect of cadmium, mercury and lead on seed germination and early seedling growth of vigna ambacensis l*. *Plant Physiol*. 6(2): 147-151.

[17] Gautam, S., Anjani, K., & Srivastava, N. (2016). *In vitro evaluation of excess copper affecting seedlings and their biochemical characteristics in Carthamus tinctorius L.(variety PBNS-12)*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 22(1): 121-129.

[18] Murtaza S., Parveen N., Murtaza S., Iqbal M.Z., Shafiq M., Kabir M. and Farooqi Z.R. (2017) *Effects of Chromium on seed germination, growth and yield of pink lentil*. *Bioscience Research* 14(4): 1246-1252.

[19] Al-Muwayhi, M. A. (2021). Morpho-physiological and molecular responses of cowpea (*Vigna sinensis* L.) to nickel toxicity. *Applied Ecology and Environmental Research*. 19(3): 2171-2188.

[20] Kumar, A., & Verma, J. S. (2018). Effects of nickel chloride on germination and seedling growth of different wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell.) cultivars. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(4): 2227-2234.

[21] Llamas, A., Ullrich, C. I., Sanz, A. (2008): Ni²⁺ toxicity in rice: Effect on membrane functionality and plant water content. *Plant Physiology and Biochemistry*. 46: 905-910.

[22] Yahaghi, Z., Shirvani, M., Nourbakhsh, F., & Pueyo, J. J. (2019). Uptake and effects of lead and zinc on alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth: Role of plant growth promoting bacteria. *South African Journal of Botany*, 124, 573-582.

[23] Tao, L., Guo, M. Y., Xu, D., & Ren, J. (2014). Effect of zinc on seed germination, coleoptile growth and root elongation of six pulses. In *Applied mechanics and materials*. 618: 339-343.

[24] Iqbal, M. Z., Shafiq, M., & Athar, M. (2014). Phytotoxic effects of mercury on seed germination and seedling growth of *Albizia lebbek* (L.) Benth. (Leguminosae). *Advances in Environmental Research*. 3(3): 207-216.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Sensor para medir pH en suelos: implementación de un ADC con STM32



Colaboración

David Orlando Romero Soto; Merit Cisneros González; Darío Cisneros Arreola; Manuel Ismael Mata Escobedo; Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana; Marco Antonio Arjona López; Instituto Tecnológico de La Laguna

Fecha de recepción: 06 de octubre de 2020

Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2022

ABSTRACT: *The pH monitoring in crops enables optimal plant development through nutrient utilization. The pH is mainly affected by two important factors such as acid rainfall and fertilizers. However, it is common that small producers do not get the necessary equipment to analyze this variable due to the high costs in the market of this type of sensor.*

The pH sensor presented in this work has the ability to determine this variable in the soil digitally, using a low-cost commercial analogic gardening sensor as a base. The readings are processed by a STM32 “blue pill” development board, and employing an EMA filter a reliable reading of the pH in the soil is obtained. The calibration and validation of the pH sensor of this work are carried out using commercial pH buffers: 9.18, 7, 6.86 and 4.01, giving as a result in the different tests developed an $R^2 = 0.96$.

KEYWORDS: *Agriculture, Datalogger, Sensor, pH, STM32.*

INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes variables que intervienen en el área agro-industrial, la medición del pH en el suelo es un elemento destacable para la buena salud de los diferentes tipos de cultivos [1]-[4]. El correcto mantenimiento del pH en el suelo permite un mejor rendimiento de los cultivos ya que las plantas absorben correctamente los nutrientes [5], [6].

La necesidad de tener un sensor digital de pH confiable y económico es constante entre los pequeños y medianos productores de hortalizas que buscan satisfacer el mercado con productos de alta calidad mejorando su competitividad. Por esta razón, es importante migrar los métodos tradicionales de cultivo a métodos digitales que permitan monitorear las variables que interactúan en los cultivos permitiendo tener calidad en el producto final [7].

El sistema digital de medición de pH que se presenta en este artículo, utiliza como base un sensor analógico comercial de pH para suelos con aplicaciones de jardinería. Las lecturas obtenidas del sistema digital se validan mediante buffers comerciales de pH alcanzando

RESUMEN: El monitoreo del pH en los cultivos permite el desarrollo óptimo de las plantas por medio del aprovechamiento de nutrientes. El pH es afectado principalmente por dos factores importantes como las lluvias ácidas y fertilizantes. Sin embargo, es común que los pequeños productores no consigan el equipo necesario para el análisis de esta variable debido a que los costos en el mercado de este tipo de sensores son elevados.

El sensor de pH presentado en este trabajo, tiene la habilidad de determinar esta variable en el suelo de forma digital, utilizando como base un sensor comercial análogo de jardinería de bajo costo. Las lecturas son procesadas por una tarjeta de desarrollo STM32 “blue pill” y por medio de un filtro EMA se obtiene una lectura confiable del pH en el suelo. La calibración y validación del sensor de pH de este trabajo se realizan por medio de buffers comerciales de pH: 9.18, 7, 6.86 y 4.01, dando como resultado en las diferentes pruebas desarrolladas una $R^2 = 0.96$.

PALABRAS CLAVE: *Agricultura, Datalogger, Sensor, pH, STM32.*

valores de coeficiente de determinación de alrededor de 0.96. Los resultados de la validación demuestran que el monitoreo realizado con el sistema propuesto es confiable para la medición adecuada de pH en suelos destinados a la agricultura.

MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto se realizó en dos etapas; la primera consistió en la transformación de la señal analógica por medio del ADC integrado en el microcontrolador STM32 "blue pill" para posteriormente obtener una lectura en milivoltios (mV) en una pantalla OLED Adafruit 128x64. Mientras que en la segunda etapa se llevó a cabo una calibración de la señal en mV empleando buffers comerciales de pH donde se permitió obtener los voltajes en función al valor del pH indicado. Esto permitió generar una ecuación que transforma cualquier voltaje recopilado del sensor, en un valor de pH. Los materiales utilizados se muestran en la Tabla 1 y fueron adquiridos por medio de la plataforma de venta Aliexpress dando un total de 37.55 USD.

Tabla 1. Materiales Utilizados.

Cantidad	Descripción	Costo (USD)
1	Medidor de tierra de 3 vías	\$3.00-\$6.00
1	STM32F103C8T6 "Blue Pill"	\$7.00
1	Lector tarjetas SD Adafruit para Arduino	\$0.66
1	DS3231 RTC	\$2.70
1	OLED Adafruit 128x64 I2c	\$1.50
1	Cable USB a USB Micro	\$2.00
1	Tarjeta SD 8GB	\$3.00
1	Batería CR1220	\$1.18
1	Metro de cable calibre 24AWG de dos hilos	\$0.60
1	Batería portátil 10000 mAh	\$7.27
1	Kit buffers (9.18, 7, 6.86, 4.01)	\$4.50
1	PCB Perforada	\$1.14

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que dependiendo de la aplicación puede eliminarse la pantalla o reducir el tamaño de la batería para disminuir los costos del sistema. Además, es importante mencionar que el mismo se encuentra protegido dentro de una protección impresa en 3D con material PLA que tiene características como alta dureza y tanto poca dilatación térmica como flexibilidad para brindar robustez y ser fácilmente empleado en aplicaciones de agricultura. Un aspecto importante a mencionar es que los costos de impresión 3D para este tipo de protecciones pueden variar dependiendo de la región geográfica.

Teoría y descripción del hardware.

Una señal analógica es un tipo de señal continua esto quiere decir que para cualquier instante en el tiempo le corresponde un valor de magnitud física (puede ser, frecuencia, voltaje, presión, fuerza como algunos ejemplos). Este tipo de señales deben ser procesadas por un conversor análogo-digital (ADC) para ser convertida a digital. La principal característica de las señales digitales es que no son continuas, son señales discretas, esto quiere decir que el valor que tiene esta señal con respecto al tiempo va a tener un valor alto o uno bajo por cada muestra (o paso) que realice [8].

El sensor de jardinería comercial básico empleado para este trabajo se muestra en la Figura 1, contiene un sensor de pH que envía una carga eléctrica a una bobina, que tiene como tarea el hacer girar una manecilla sobre una escala la cual indica el pH del suelo. En esta bobina es de donde se obtienen los pulsos eléctricos que se programan para obtener una señal digital.

El STM32F103C8T6 mostrado en la Figura 2 es un circuito integrado que destaca al tener un procesador ARM Cortex M3 de 32 bits, siendo ampliamente utilizados para trabajos en tiempo real con una buena eficiencia en el consumo de energía. Para la conversión de señales, cuenta con un ADC de 12 bits el cual da una resolución (o rango de muestras) desde 0 hasta 4098 dando una mejor precisión de lectura comparado con tarjetas de 8 bits [9].



Figura 1. Sensor 3 en 1 de jardinería.

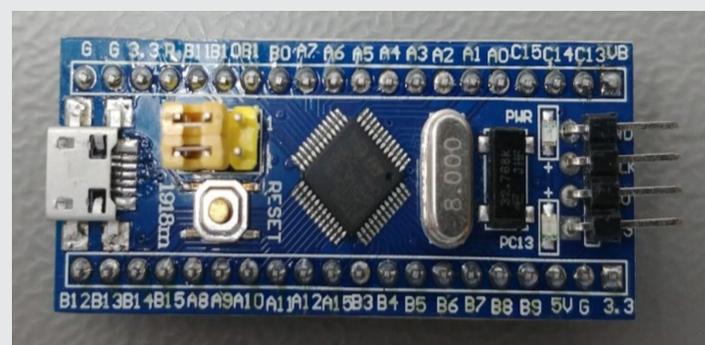


Figura 2. ST-Microelectronics. (2020). STM32 «Blue Pill» [10].

Conociendo el paso de un ADC [11] el cual se da en la Ec. 1:

$$q = \frac{V_{ref}}{2^B} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde q representa el paso de cuantificación del ADC, mientras que 2^B es la resolución del ADC y V_{ref} es el voltaje de referencia. Cada valor de q representa una fracción del voltaje de V_{ref} , por tanto, para convertir un voltaje análogo a digital se tendría que calcular por medio de la multiplicación del voltaje de entrada al ADC por el V_{ref} y dividirse entre la resolución del ADC, dando como resultado la Ec. 2.

$$\text{Voltaje} = \frac{\text{Valor ADC}}{\text{Resolución ADC}} * V_r \quad \text{Ec. (2)}$$

donde:

- Voltaje = Valor digital del voltaje.
- ValorADC = El valor de entrada al ADC.
- Resolución ADC = Resolución del ADC (4098).
- V_{ref} = Voltaje de referencia (3.3V).

Los elementos complementarios permiten generar un dispositivo versátil que puede variar el empleo del dispositivo. En este trabajo se utilizan los módulos comerciales de lector SD y el módulo RTC para convertir el dispositivo presentado como un datalogger. Además, la pantalla ayuda a tener un seguimiento visual de la última lectura realizada, todos estos dispositivos tienen un consumo energético de 86 mA.

Diagramas de conexión

En la Figura 3 se presenta el diagrama de conexiones entre los dispositivos. Partiendo de esta conexión se procede a realizar la programación del STM32. Cabe destacar que se está utilizando el STM32 en su versión Blue Pill por medio del bootloader, la cual es una función que permite la carga y monitoreo del dispositivo por medio del IDE Arduino en el sistema operativo de Windows. Cabe mencionar que es importante realizar la instalación de un Bootloader al STM32 para realizar este proyecto en Arduino, en este caso se utilizó HID Bootloader 2.0 [12]. Este modo de carga permite una programación sencilla para el usuario.

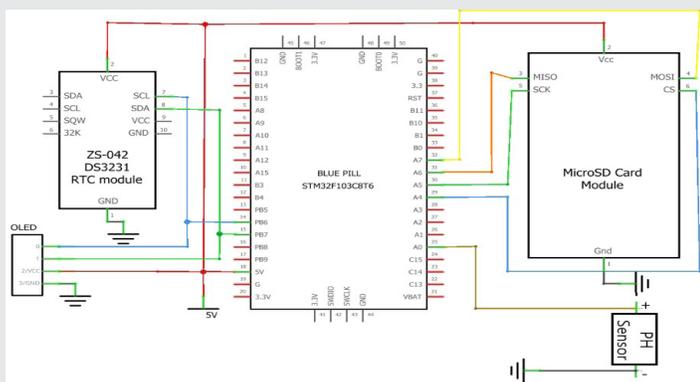


Figura 3. Diagrama de conexión.

Para programar una señal obtenida de un sistema analógico se debe de filtrar primero para poder promediar los

picos altos y bajos que se están leyendo y después usar el ADC del STM32 para lograr convertir esa señal analógica filtrada en una señal digital. El filtro seleccionado es un EMA (Exponential Moving Average) o promedio móvil exponencial, es un método de filtrado muy eficiente ya que da mayor peso e importancia a los recientes datos que entran para ser capturados [13]. De esta forma el valor que nos entregue el dispositivo podrá tener una aproximación muy cercana a la medición real (en la sección de calibración se describe el proceso que se siguió para obtener una medición precisa del sistema de medición).

El filtro está dado por la ecuación:

$$A_n = (\alpha * M) + [(1 - \alpha) * A_{n-1}] \quad \text{Ec. (3)}$$

donde:

- A_n = La señal filtrada.
- A_{n-1} = El valor filtrado anterior.
- M = El valor captado por el sensor.
- α = Factor de 0 a 1.

Calibración

La calibración es la parte fundamental para que el dispositivo sea confiable, por lo que resulta indispensable usar una tarjeta de desarrollo o microcontrolador que tenga un ADC de 12 bits. Esto es debido a que se necesita una resolución alta para que puedan ser leídos las lecturas de milivoltios que genera el sensor en valores de pH elevado.

El proceso de calibración se llevó a cabo mediante el siguiente método:

Se desmontó el sensor comercial de jardinería y se conectaron los polos del sensor a un multímetro digital, haciendo conexiones con sus respectivas polaridades.

Se sometió el sensor a 4 buffers comerciales de pH con los siguientes valores: 9.18, 7, 6.86 y 4.01 siguiendo las instrucciones de empleo de cada buffer.

Se anotaron las lecturas de los milivolts generados en el sensor en cada buffer de pH y se comparó el buffer de pH con la escala del sensor (Figura 4).

Se repitió este proceso 6 veces para comparar la repetibilidad de la calibración.



Figura 4. Lectura de milivoltios con respecto a un buffer de pH = 9.18.

RESULTADOS

Los resultados de la calibración se muestran en la Figura 5, denotando la relación que existe entre los mV y el pH durante la fase de calibración para determinar la precisión

y la función exponencial en mV que mejor se ajusta a los datos obtenidos en cada prueba en los distintos valores de pH.

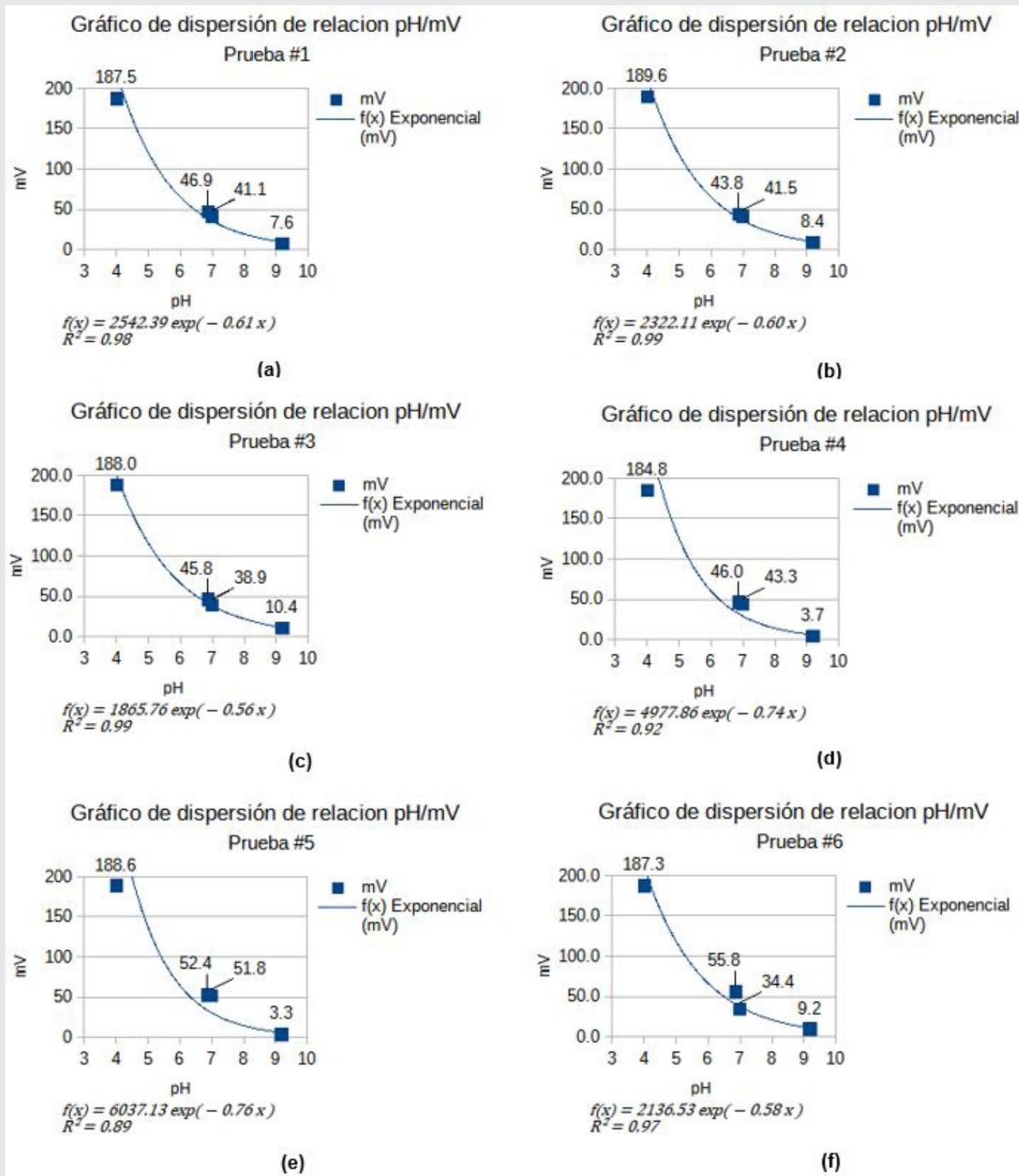


Figura 5. Pruebas de calibración

A partir de estas pruebas, se promediaron los datos para obtener la curva de calibración mostrada en la Figura 6 con su respectiva ecuación, obteniendo un $R_2 = 0.96$. Este valor representa ser una aproximación muy cercana a la medición real que está ocurriendo en el momento de tomar la lectura para la que fue programada en el STM32 para su implementación en campo [14].

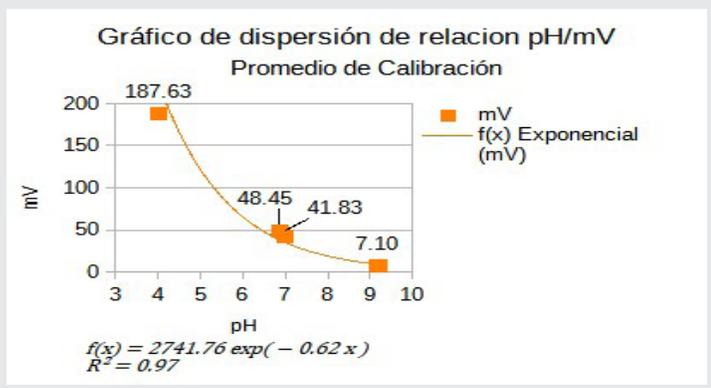


Figura 6. Promedio de calibración

La puesta en marcha del sensor fue su aplicación para fabricar un datalogger instalado en la tierra de un invernadero de tomate mostrado en la Figura 7. Esto tiene el objetivo de determinar los cambios de pH durante el día con respecto a la aplicación de fertilizantes disueltos en agua.



Figura 7. Datalogger pH en invernadero de tomate.

El ciclo de trabajo fue desde las 07:09:01 hasta las 06:39:01 tomando un valor de pH cada 30 minutos, dando como resultado las lecturas mostradas en la gráfica de la Figura 8.

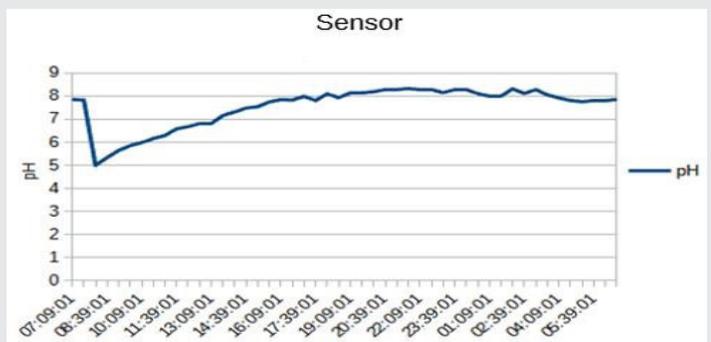


Figura 8. Valores de pH en 24 horas de prueba.

CONCLUSIONES

Los datos adquiridos por el datalogger presentado en este trabajo reflejan el comportamiento cuando se aplica el fertilizante con agua (7:00:00 horas) y su etapa de disipación comprendida de las 09:09:01 hasta las 17:39:01 horas. Dada la aplicación del fertilizante se pueden determinar la distribución y ajuste en las cantidades de fertilizante necesarias para los plántulos de tomate. Cabe mencionar que el pH del suelo necesita ser controlado para ajustarse al estándar que comprende valores de pH entre 6.0 y 6.5. Con esto se concluye el haber logrado satisfactoriamente la transformación de un sensor analógico a un sensor digital por medio de una calibración de pH estandarizados, teniendo un resultado promedio de $R_2 = 0.96$

En este caso de estudio es importante ya que el suelo tiende a ser alcalino. Sin embargo, gracias a la aplicación del fertilizante que además de aportar nutrientes a la planta, aporta la acidez necesaria al suelo para ajustarse al estándar. Dado que una alta alcalinidad provoca una corta elongación en la raíz dando como resultado un menor rendimiento de la planta. Como recomendación es ideal seguir las instrucciones de empleo del sensor comercial que vienen en el empaque y no exponerlo a largo tiempo sobre el suelo ya que las varillas tienden a generar óxido. Como trabajo futuro se buscará la manera de implementar materiales que sean resistentes a la corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Neina, D. (2019). *The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. Applied and Environmental Soil Science.*
- [2] H. Wei, Y. Liu, H. Xiang, J. Zhang, S. Li, y J. Yang (2020). «Soil pH Responses to Simulated Acid Rain Leaching in Three Agricultural Soils», *Sustainability*, vol. 12, n.o 1, Art. n.o 1, ene.
- [3] Dong, W., Zhang, X., Wang, H., Dai, X., Sun, X., Qiu, W., & Yang, F. (2012). *Effect of Different Fertilizer Application on the Soil Fertility of Paddy Soils in Red Soil Region of Southern China. PLOS ONE*, 7(9), e44504.
- [4] Odutola Oshunsanya, S. (2019). *Introductory Chapter: Relevance of Soil pH to Agriculture. En S. Oshunsanya (Ed.), Soil pH for Nutrient Availability and Crop Performance. IntechOpen.*
- [5] Putranta, H., Permatasari, A. K., Sukma, T. A., & Dwandaru, W. S. B. (2019). *The Effect of pH, Electrical Conductivity, and Nitrogen (N) in the Soil at Yogyakarta Special Region on Tomato Plant Growth.* 8(3), 6.
- [6] Kobayashi, O., Higuchi, K., Miwa, E., & Tadano, T. (2010). *Growth injury induced by high pH in rice and tomato. Soil Science and Plant Nutrition*, 56(3), 407-411.

[7] Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kitas, C. (2017). *Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges*. *Biosystems Engineering*, 164, 31-48.

[8] Tan, L. (2019). *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications (3.a ed.)*. Elsevier. Obtenido de: https://www.elec.inaoep.mx/~jmram/Digital_Signal_Processing__LI_TAN.pdf

[9] Carrasco, R., & Molera, I. (2020). *Construcción y programación del control de un brazo mecánico con STM32* [Universitat Politècnica de Catalunya]. Obtenido de: <https://docplayer.es/210548987-Construccion-y-programacion-del-control-de-un-brazo-mecanico-con-stm32.html>.

[10] T. Gravekamp, «STM32F103C8T6 - Blue Pill», STM32-base project, 2020. <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>.

[11] Zheng, Y., Zhao, Y., Zhou, N., Wang, H., & Jiang, D. (2021). *A short review of some analog-to-digital converters resolution enhancement methods*. *Measurement*, 180, 109554.

[12] STM32duino. (2021). GitHub. <https://github.com/stm32duino>.

[13] Kumar, A. K., Sri Lakshmi, A., & Janaki Nivas Rao, P. (2020). *Moving average method based air pollution monitoring system using IoT platform*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1706, 7.

[14] Saunders, L. J., Russell, R. A., & Crabb, D. P. (2012). *The Coefficient of Determination: What Determines a Useful R² Statistic?* *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(11), 6830-6832.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Análisis de aleaciones comerciales en la fabricación de rines de la industria automotriz

RESUMEN: El siguiente artículo presenta el análisis de rines de aluminio. Se analizaron los materiales y las propiedades que tienen los rines incluyendo el valor estético, además, se abordaron temas como el proceso de conformado, el costo del material, manufactura y aplicación. El método más conveniente para la fabricación de los rines para el caso del aluminio es el forjado, obteniéndose rines de una sola pieza. Se tomaron en cuenta factores ambientales, ya que, en la producción, los contaminantes habituales son variados tal como emisiones a la atmósfera, residuos sólidos y aguas residuales. Se tomó como referencia 5 muestras, de distintos automóviles, las cuales se evaluaron denotando las propiedades críticas del material mediante una investigación, algunas de estas propiedades son: la dureza, la resistencia a la tracción, su resistencia a la corrosión, sus tratamientos térmicos, superficiales y recubrimientos. Con la evaluación de estas muestras y en base a los estándares actuales de la industria, las cualidades más destacables las poseen los rines de aleaciones de magnesio-aluminio ya que presentan mayor resistencia a la deformación, corrosión y una baja densidad de 1.74 g/cm³ que contribuye a la construcción de un automóvil más ligero. Un bajo peso, en general, permite un mejor diseño en los rines y en otros componentes principales del vehículo, logrando así una mejor estabilidad de manejo.

PALABRAS CLAVE: Aluminio, Rines, Dureza, Forjado.



Colaboración

Verónica Elvira Salazar-Muñoz; Diana Leticia Espe-ricueta-Gonzalez; Jose Francisco Ibarra-Sánchez; María Magdalena Montserrat Contreras, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí

Fecha de recepción: 08 de agosto de 2022

Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2022

ABSTRACT: The following article presents the analysis of aluminum wheels. The materials and the properties of the wheels were analyzed, including the aesthetic value, in addition, topics such as the forming process, the cost of the material, manufacturing and application were addressed. The most convenient method for the manufacture of wheels in the case of aluminum is forging, obtaining wheels in one piece. Environmental factors were taken into account, since, in production, the usual pollutants are varied, such as emissions into the atmosphere, solid waste and wastewater. 5 samples were taken as a reference, from different automobiles, which were evaluated denoting the critical properties of the material through an investigation, some of these properties are: hardness, tensile strength, resistance to corrosion, its thermal treatments, surfaces and coatings. With the evaluation of these samples and based on current industry standards, the most outstanding qualities are possessed by the magnesium-aluminum alloy wheels, since they present greater resistance to deformation, corrosion and a low density of 1.74 g/cm³. which contributes to building a lighter car. A low weight, in general, allows a better design in the wheels and other main components of the vehicle, thus achieving better driving stability.

KEYWORDS: Aluminium, Wheels, Hardness, Forged.

INTRODUCCIÓN

Con la fabricación de vehículos innovadores se busca el desarrollo de piezas específicas que cumplan con una función clara y eficiente al funcionamiento general de transporte, es entonces cuando surge una problemática, ¿qué materiales son más adecuados en relación con el costo y rendimiento. En el caso de los rines, los vehículos generalmente cuentan con materiales que van desde el hierro fundido o forjado hasta aleaciones específicas con base en magnesio y aluminio, por lo que existe un am-

plio repertorio que puede ser usado y acondicionado según el diseño y requerimientos del automóvil. Todo este panorama habla de un gran número de posibilidades y oportunidades económicas que dependen de la elección del material y método de producción correcto. Este trabajo busca encontrar un diseño óptimo de rines para el automóvil promedio a través de una investigación cuyas limitantes se encuentran en las diversas fuentes de internet y otros recursos brindados por fabricantes. La información obtenida de las investigaciones se comparó y con ello se analizaron los materiales que conforman los rines a partir de las siguientes variables establecidas: costos, propiedades, acabado estético, y durabilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se buscó información sobre rines de automóviles a disposición en los manuales de propietario de cada uno de los fabricantes. Así como en base a sus propiedades mecánicas del aluminio, pero más enfocado a la de las aleaciones de Aluminio- Magnesio ya que, actualmente, es la más usada para el sector automotriz en la fabricación de los rines [1].

Propiedades Mecánicas del Aluminio

Las características mecánicas del aluminio varían considerablemente dependiendo del tipo de aleación que se esté considerando.

- La resistencia a cizallamiento es un valor importante a tener en cuenta para calcular la fuerza necesaria para el corte. No existen valores normalizados a este respecto, pero generalmente es un valor que está entre el 55 y 80 % de la resistencia a la tracción.

- Módulo de elasticidad longitudinal o Módulo de Young: El módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young (E) relaciona la tensión aplicada a una pieza según una dirección con la deformación originada en esa misma dirección, y siempre considerando un comportamiento elástico en la pieza.

Para las aleaciones de aluminio-magnesio, el módulo de elasticidad longitudinal, E, tiene el siguiente valor:

$$E = 70.000 \text{ MPa (70.000 N/mm}^2\text{)} \quad E_c 1$$

- Módulo de elasticidad transversal: El módulo de elasticidad transversal, módulo de cortante o también llamado módulo de cizalla, G, guarda una relación fija con el módulo de elasticidad longitudinal (E) y el coeficiente de Poisson (ν).

- Coeficiente de Poisson: El coeficiente de Poisson (ν) corresponde a la razón entre la elongación longitudinal y la deformación transversal en el ensayo de tracción. Para el aluminio aleado, el coeficiente es:

$$\nu = 0,33$$

Estos valores son constantes siempre dentro del rango de comportamiento elástico del aluminio.

En base a estas propiedades mecánicas que el aluminio posee normalmente en la industria automotriz se selecciona al magnesio como aleante debido a que mejora las propiedades mecánicas en gran medida, también en base a su proceso de conformado que puede otorgarle otras propiedades, En la Tabla 1 se presentan las Propiedades Mecánicas de Aleaciones de Magnesio como lo son Límite Elástico, Resistencia Máxima a la Tensión, Elongación, Dureza Brinell, Dureza Rockwell. Que presenta esta Aleación Aluminio- Magnesio [2-4]

Tabla 1. Propiedades Mecánicas de Aleación de Magnesio

Aleación de magnesio	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
AZ 31B	recocido en hoja	22	152	37	255	21	56HB
	hoja dura	32	221	42	290	15	73HB
AZ 80A	tal y como sale de la forja	33	228	48	331	11	69HB
	forjado y envejecido	36	248	50	345	6	72HB
AZ91A y AZ91B	fundido con dado	22	152	33	228	3	63HB
AZ91C	tal y como sale fundido	14	97	24	165	2.5	60HB
	fundido tratado en solución y envejecido	19	131	40	276	5	70HB
AZ92A	tal y como sale fundido	14	97	25	172	2	65HB
	fundido tratado con solución	14	97	40	276	10	63HB
	fundido tratado con solución y envejecido	22	152	40	276	3	81HB
EZ33A	fundido y envejecido	16	110	23	159	3	50HB
HK31A	endurecido por deformación	29	200	37	255	8	68HB
	fundido con tratamiento térmico	15	103	32	221	8	66HRB
HZ32A	fundido-tratamiento por solución y envejecido	13	90	27	186	4	55HB
ZK60A	tal y como se extruye	38	262	49	338	14	75HB
	extruido y envejecido	44	303	53	365	11	82HB

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., Inc., Nueva York.

Nota Fuente: Propiedades Mecánicas de Aleaciones magnesio, Recuperado de: Propiedades de los Materiales (ingemecanica.com)

En la Tabla 2, se muestran los rines que se tomaron como referencia en primera instancia para los tipos de materiales, el número de los rines varía desde el de 14 pulgadas hasta el de 18 pulgadas. Las llantas para todos los casos están hechas de caucho sintético.

Tabla 2. Rines seleccionados para análisis

MODELO	MATERIAL DE RIN	MATERIAL DE BANDA DE RODAMIENTO.	FOTO
185/45R15 (Kia Rio 2019)	AJ62A: (91% magnesio, 6% aluminio, .2% zinc)	Caucho sintético.	
245/50R18 (Mazda 3 2020)	AZ91: (90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio)		
215/50R17 (Ford Ka 2004)	AE44: (92% magnesio, 4% aluminio)		
185/60R14-S2H (Chevrolet Tracker 2021)	AZ91: (90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio)		
214/50-R17 (Ford Focus 2018)	AE44: (92% magnesio, 4% aluminio)		

Nota fuente: Elaboración propia

Se evaluaron tres rines de los cinco disponibles, siendo los siguientes: rin de aleación magnesio-aluminio AJ62A con densidad de 1.80 g/cm³ (composición 91% magnesio, 6% aluminio, .2% zinc), rin de aleación magnesio-aluminio AE44 con densidad de 1.82 g/cm³ (Composición 92% magnesio, 4% aluminio), rin de aleación magnesio-aluminio AZ91 con densidad de 1.74 g/cm³ (Composición 90% magnesio, 8% aluminio, .6% zinc, .035% silicio).

Entre los casos seleccionados se sabe que tienen como proceso de manufactura el forjado, en este se obtienen lingotes que son calentados a 450°C, Se utilizan dos discos rotativos los cuales aplanan el lingote de aluminio con 4000T de presión, esto confiere el patrón circular compacto con el que se da fuerza al rin. La siguiente parte del proceso se constituye por un extruido para dar forma a el perfil del aro, este es ayudado por un refrigerante para disminuir la fricción [5]. En el acabado algunas veces se recomienda realizar un proceso de maquinado en fresadora para rectificar las imperfecciones y mejorar su estética. A continuación, en la Figura 1, se muestra el diagrama de flujo del proceso de forja y extruido de un rin de aluminio.



Figura 2. Aplicación de pintura metálica a un rin de aluminio forjado.



Figura 3. Rines de aluminio forjado con una capa de pintura metálica.

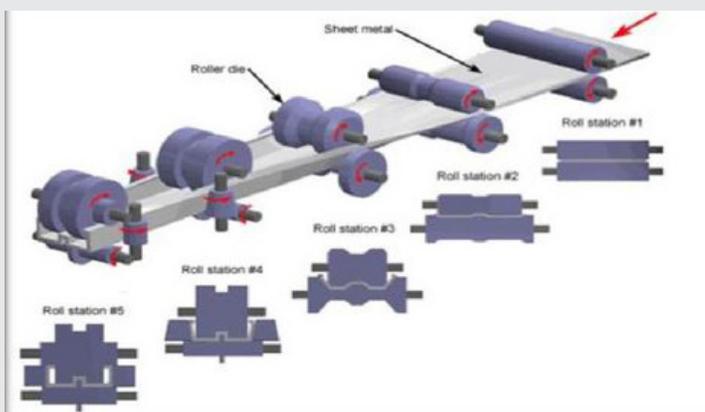


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de forja y extruido para el rin de aluminio.

Se requiere que los rines presenten una buena resistencia al impacto, a la flexión y a la torsión ya que están expuestos a esfuerzos cíclicos. Los rines propuestos siempre están expuestos a la corrosión debido a una variedad de factores ambientales, si bien no es necesario la protección a la corrosión por el tipo de aleaciones que se manejan, muchas veces, se utiliza un baño de pintura como protección adicional [6-7]

En la Figura 2, se muestra la aplicación de pintura metálica a un rin de aluminio forjado, en la Figura 3 se muestra el acabo final de la superficie del rin después del proceso de la aplicación de la pintura metálica.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se presentan los costos de los moldes, así como los costos de sus componentes, dentro de los cuales se incluyen los precios de las materias primas.

Tabla 3. Costos de moldes, y componentes para la manufactura.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO/PIEZA (MXN)	TOTAL (MXN)
Superior diámetro 19.5 x 3.5	1	11520	11520
Inferior diámetro 19.5 x 3	1	13440	13440
Laterales 16 x 6 x5.5	4	8760	35040
Placa botadora diámetro 19.5 x 1	3	840	2520
Placa porta cerámico diámetro 8 x 2	1	500	500
Nariz diámetro 3 x 3	1	500	500
Tuerca botadora diámetro 3 x 3	1	400	400
Postes diámetro 1.750 x 16	4	100	400
Botadores 5/16 x 14	12	82	984
Botadores 1/2 x 14	4	160	640
Opresor 3/4	4	24	96
Tornillo 3/4 cabeza plana	4	39	156
Conexiones tubing 3/8	4	80	320
Tornillos 1/2 x 1 3/4	24	10	240

Nota fuente: Fabricacion

El costo total de las herramientas necesarias para la fabricación de los rines asciende a los \$ 65,944.000 pesos mexicanos, esto sin contar el tiempo de vida de cada herramental y su reposición, así como el costo de materia prima para el uso continuo. A continuación, en la Figura 4 se presentan algunos componentes para la manufactura de rines mencionados en la Tabla 3

En el ámbito comercial los costos pueden variar enormemente según el material del cual se compone el rin, diseño, marca y en especial las pulgadas de la llanta. En la Tabla 4 se muestra una comparación de precios únicamente variando las marcas mientras se mantienen las medidas de los rines con el propósito de mostrar la gama de costos que se puede alcanzar para el público en general. El precio más elevado, corresponde a la

marca Luxotik con 7051.22 pesos y el más barato PRW con 1640 pesos, en ambos casos, por pieza.



Figura 4. Componentes para la manufactura de rines.

Tabla 4. Precio de distintas marcas de Rin de medida 15 pulgadas.

MARCA	RIN	PRECIO (MXN/ pza)
Luxotik	3351-RIN-15, 4x100	7,051.22
Vorwart	XH595-RIN-15, 10X100/114.3	6,314.91
Darwin	XH455-RIN-15, 4X100	7,409.50
PRW	RIN-15x7, 5-100	1,640.00
XP Wheels	RIN-15x8, 6-114.3	3,027.00

Nota fuente: Fabricación de molde para Rin de aluminio 38,1 cm, por fundición a baja presión, 2008

En base a los datos expuesto respecto a las medidas y aleaciones formas de conformado de rines en la industria automotriz a nivel mundial es que podemos englobar de manera general las variables que se toman en cuenta para la selección del material teniendo en cuenta variables tales como, Funcionalidad, Propiedades, Seguridad, Durabilidad o Costos, por lo que anexamos la siguiente Tabla 5 en donde encontraremos algunos de los puntos más importantes para cada uno de los materiales.

CONCLUSIONES

En el marco teórico se hizo un análisis detallado de la composición química de los rines donde la aleación que más favorece la densidad del rin es la de Mg-Al con 1.74 g/cm³ puesto que la industria automotriz busca fabricar automóviles más ligeros para mejorar el rendimiento del automóvil en general. El proceso de manufactura recomendado para la elaboración de rines de aluminio es el de forja, este permite mejorar la estructura de este, ya que refinan su tamaño de grano mejorando sus propiedades mecánicas, este proceso ocupa un tratamiento térmico de normalizado posterior a la forja para eliminar los esfuerzos residuales en el rin.

Tabla 5. Matriz General de Decisión del Material

VARIABLES	MATERIAL 1 ALUMINIO	MATERIAL 2 FIBRA DE CARBONO	MATERIAL 3 ACERO
Seguridad	Seguro No contamina en gran medida	Seguro Contaminante	Seguro Contaminación media
Propiedades	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia más estética. • Material más manipulable. • Construidos bajo estándares precisos. • Muy ligeros. • Alta fortaleza. • Inoxidables. • Se deforma con facilidad. • Por sus propiedades no se recomienda en caminos de tierra o 	<ul style="list-style-type: none"> • Peso menor. • Más resistencia en comparación con los de aluminio. • Amortigua la vibración. • Mejora el desempeño. • Automóvil más predecible. • Usan una resina especial y un sistema de revestimiento térmico que permite que alcance los niveles 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia • Son los más pesados. • Acero maleable. • Facilidad de reparación. • Brinda un aspecto rudimentario. • Conserva su forma después de ser sometido a un esfuerzo. • Puede ser laminado. • Es altamente tenaz.
Funcionalidad	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte; como material estructural en aviones, automóviles, trenes de alta velocidad, metros, tanques, superestructuras de buques y bicicletas. • Embalaje de alimentos; papel de aluminio, latas, tetrabriks, etc. • Bienes de uso doméstico; utensilios de cocina, herramientas, etc. • Calderería. 	<ul style="list-style-type: none"> Suelen encontrarse en diseños de una sola pieza: <ul style="list-style-type: none"> • Automovilismo: silenciadores y tubos de escape, protectores para depósitos, puertas, parachoques. • Electrónica y robótica: ordenadores, tripodes para fotografía, drones y teledirigidos... • Construcciones: refuerzos estructurales para edificios... • Medicina: prótesis y muletas... 	<ul style="list-style-type: none"> • Es utilizado como material de construcción. • Materia prima de diversas herramientas mecánicas. • Para realizar aleaciones de acero.
Durabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento especial en invierno y áreas de sal y arena. • Vida útil de 80 años. • Independientemente de las condiciones que deba soportar el aluminio apenas notara efecto de la corrosión. • El aluminio es 100% reciclable. • Su tasa de recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> • En exteriores su durabilidad es de aproximadamente 5 años. • En interiores o resguardada en algún lugar puede durar hasta 12 años. Esto puede variar dependiendo de algunos factores. Algunos son: <ul style="list-style-type: none"> • Envejecimiento físico de la matriz polimérica. • Humedad. • Ciclos de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> El acero es esencialmente hierro mezclado con otros elementos como: <ul style="list-style-type: none"> • Carbono. Reduce la ductilidad y soldabilidad del hierro mientras añade dureza a la mezcla.
Costo	<ul style="list-style-type: none"> • El precio por tonelada es de aproximadamente \$1901.47 dólares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Valor monetario mayor en comparación a los de aluminio y acero. • Reparación más costosa. • Aproximadamente cuesta 100euros por kilogramo. 	<ul style="list-style-type: none"> Su peso en kilogramos: Entre \$1 y \$2 USD/kg, y se vende a partir de 1000kg.

Nota fuente: Fabricación de molde para Rin de aluminio 38,1 cm, por fundición a baja presión, 2008

Se ha demostrado que el Al es un material capaz de resistir la oxidación y con ello evitar la corrosión del rin, esta propiedad química del Al puede mejorar notablemente con el proceso de pasivación que es básicamente cuando una superficie de este metal entra en contacto con el aire ambiental, la parte más externa del objeto se oxida espontáneamente para formar una capa transparente e impermeable de alúmina Al₂O₃ tipo cerámica, muy congruente y adherente. Aunque los aceros inoxidable resisten mejor la oxidación y con ello corrosión. En cuanto al costo, normalmente el aluminio es mucho más accesible económicamente que el acero inoxidable. Como ultima reflexión el rin que se recomienda es el de Al AZ91, por su baja densidad, su resistencia a la corrosión, su fácil proceso de manufactura y costo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Hernández, L. (2018, 14 de agosto). Ventajas y desventajas de los rines de aluminio, acero y fibra-

de carbono, AutoCosmos. Consultado el 29 de octubre de 2021. <https://noticias.autocosmos.com.mx/2018/08/14/ventajas-y-desventajas-de-los-rines-de-aluminio-ace-ro-y-fibra-de-carbono>.

[2] Mecánica Automotriz, (2021, 10 de septiembre). Cursos de rines, características, medidas y tipos, Mecánica automotriz.org. Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://www.mecanicoautomotriz.org/857-curso-mecanica-automotriz-rines-descripcion-general>.

[3] Manufactura, (2013, 13 noviembre). Llega CMW al parque industrial Colinas de San Luis, Industrias. Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://manufactura.mx/industria/2013/11/13/llega-cmw-al-parque-industrial-colinas-de-san-luis>.

[4] Autopartes, (2016, 21 de junio) Inauguran en SLP planta de rines. Portal automotriz.com Consultado el 28 de octubre de 2021. <https://www.portalautomotriz.com/noticias/after-market/inauguran-en-slp-planta-de-rines>.

[5] TIRERACK. (10/11/2021). CONSTRUCCIÓN DEL RIN, ARO O LLANTA. TIRERACK Recuperado de <https://m.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=90&ln=sp>.

[6] Israel Barajas, Eduardo Gonzales, Jesús Hernán, Edgar Villegas. (2013). Prototipo de un rin de materiales compuestos y aluminio. México: IPN.

[7] Contreras Ramón, Tapia Horacio, Vargas Hugo, Villegas Gerardo. (2008). Fabricación de molde para Rin de aluminio 38.1cm, por fundición a baja presión. México: IPN.



Mecánica
de
Materiales

Ingeniantes

Diseño y construcción de patín eléctrico tripulado, utilizado para transporte de herramientas en las empresas

RESUMEN: El presente artículo muestra el desarrollo del Diseño y construcción de patín eléctrico tripulado, utilizado para transporte de herramientas en las empresas.

Este proyecto surge de la problemática detectada en algunas empresas, en donde el personal del área de mantenimiento traslada de forma manual utilizando la fuerza física las herramientas para el mantenimiento preventivo o correctivo de equipos, el cual suele ser tardado, a veces causando una reacción tardía por el departamento, reflejándose en un daño físico en los técnicos y en los propios equipos repercutiendo en pérdidas económicas para la empresa. Es por ello que primeramente se realizó una búsqueda del estado del arte, modelado tridimensional y análisis de elemento finito en SolidWorks, cotización, construcción y pruebas de operación del equipo mencionado.

Se diseñó y se realizó la fabricación del patín eléctrico tripulado, obteniendo un vehículo que facilita el desplazamiento de herramientas para el desarrollo de mantenimientos de equipos en las empresas, disminuyendo la fatiga del operador, además de reducir de manera significativa el tiempo que tarda el personal en trasladarse del lugar donde se encuentre, hasta el sitio en que se presente alguna falla o sea necesario algún tipo de atención, facilitando el transporte y disminuyendo hasta en un 100% el peso de carga de la herramienta que requiera para poder desarrollar su trabajo evitando daños físicos en los trabajadores.

PALABRAS CLAVE: Análisis de elemento finito, Herramientas, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento preventivo, Modelado tridimensional, Patín eléctrico.



Colaboración

Francisco Miguel Hernández López; Jorge Alberto Cárdenas Magaña; Marco Antonio Celis Crisóstomo; Emmanuel Vega Negrete; Guadalupe Ruiz Ibarra, Tecnológico Nacional de México / ITJMMPH Unidad Académica Tamazula

Fecha de recepción: 08 de julio de 2022

Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2022

ABSTRACT: The present article shows the development of the design and construction of a manned electric skate, used for transporting tools in companies.

This project arises from the problem detected in some companies, where the maintenance area personnel manually transfer the tools for preventive or corrective maintenance of equipment using physical force, which is usually slow, sometimes causing a reaction. late by the department, reflecting in physical damage to the technicians and the equipment itself, resulting in economic losses for the company. That is why a search of the state of the art, three-dimensional modeling and finite element analysis in SolidWorks, quotation, construction and operation tests of the mentioned equipment was first carried out.

The manned electric skate was designed and manufactured, obtaining a vehicle that facilitates the movement of tools for the development of equipment maintenance in companies, reducing operator fatigue, in addition to significantly reducing the time it takes for staff in moving from the place where you are, to the place where a fault occurs or some type of attention is necessary, facilitating transport and reducing up to 100% the load weight of the tool you require to be able to carry out your work avoiding physical injuries to workers.

KEYWORDS: Finite Element Analysis, Tools, Corrective maintenance, Preventive maintenance, Three-dimensional modeling, Electric skate.

INTRODUCCIÓN

Las empresas en la actualidad realizan su producción de manera volumétrica, es decir en serie, y cada una de las empresas deben cumplir cierta demanda, por lo que cualquier

departamento es de suma importancia ya que aportan de manera directa o indirecta al área de producción, pero aquí se realizó el diagnóstico de que el área de mantenimiento es una de las principales que no da una respuesta rápida al mantenimiento ya sea correctivo o preventivo. Por lo que, la reducción de tiempo es vital [1], [2]. Al cliente se le entrega en tiempo y forma su producto por lo que para una empresa el tiempo es una de las medidas críticas.

En nuestro país, suele conceptualizarse al mantenimiento como un mal necesario, el cual debe ser evitado siempre que sea posible, se considera que el detener la producción de manera periódica para dar mantenimiento al equipo representa una disminución en la producción de la empresa y por lo tanto disminución en los ingresos [3].

Esto sin duda alguna no podría ser más equivocado, se ha comprobado que, por el contrario, el proporcionar mantenimiento constante, permite prevenir fallas que provocan mayores retrasos y desajustes en la producción de la empresa, además de que se reducen costos en los que se tendrían que incurrir por concepto de reparaciones mayores, o incumplimiento de la programación de la producción.

En la actualidad el transporte de herramientas es realizada en su mayoría por los mismos técnicos del departamento, al no contar con un dispositivo adecuado para el transporte de las mismas, en algunos casos se cuentan con apoyo de un carro de carga manual coloquialmente conocido como "diablito", pero esto no garantiza la oportuna intervención ya que, al ser un dispositivo que ocupa una fuerza para su movimiento, el tiempo de traslado y desgaste del técnico siguen siendo el mismo que al transportarlo de manera directa, ocasionando daños físicos (desgaste) en el personal y demora en el trabajo a realizar, esto repercutiendo en daños mayores en los equipos y pérdidas económicas directas en la empresa.

El desarrollar el Diseño y la construcción de un patín eléctrico tripulado, para carga de herramientas de mantenimiento, espera reducir los tiempos de mantenimiento, ya que, debido a las largas distancias, se pierde tiempo y el recurso humano, es por ello que esta herramienta reduciría el tiempo de respuesta facilitando el traslado de las herramientas empleadas por el departamento de mantenimiento, evitando pérdida de tiempo y esfuerzo físico por parte de los técnicos que conforman dicho departamento, realizando su labor de forma oportuna y eficiente.

MATERIAL Y MÉTODOS

El diseño mecánico es la expresión de una idea que soluciona de forma innovadora un problema concreto y sirve de guía para llevarlo a la práctica, es decir, para construirlo y evaluarlo.

En mayor o menor grado es posible pasar directamente del análisis a la construcción sin tener un diseño bien especificado, esto, sin embargo, puede jugar en contra de la eficiencia en el proceso e incluso poner en riesgo todo un proyecto.

Las desventajas de trabajar sin diseño son muchas: falta de una orientación adecuada, ya que las personas involucradas pueden tener ideas diferentes sobre lo que se quiere construir; se pueden adelantar mucho en la construcción y tener que desecharlo todo por falta de consistencia o porque simplemente se asumió algo que después resulta incorrecto; se le dedica demasiado tiempo a aspectos del problema y se descuidan otros de igual o mayor importancia; no hay forma de evaluar si lo que se ha avanzado corresponde en tiempo y esfuerzo a lo que se habría esperado [4].

Considerando la importancia del diseño para el éxito del proyecto, además del fin que este persigue, se empleó software CAD SolidWorks.

SolidWorks es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp.

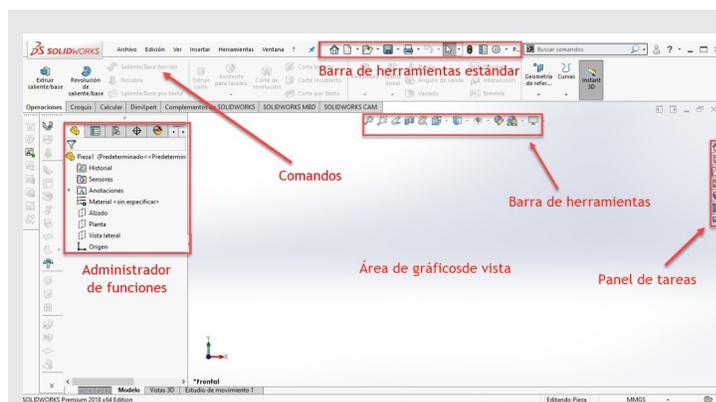


Figura 1. Interfaz de SolidWorks.

Fuente Elaboración propia.

Este software fue elegido ya que ofrece múltiples ventajas de productividad entre las que destacan:

- Herramientas software que cubren el proceso del diseño: desde el diseño y la validación hasta las comunicaciones técnicas y la gestión de datos. La interfaz de diseño intuitivo y el software integrado trabajan de manera conjunta para ofrecerle la libertad de centrarse en la innovación.

- La inteligencia integrada elimina las conjeturas del diseño en 3D. Las herramientas de diseño inteligente minimizan las necesidades de formación y le permiten detallar rápidamente diseños sin cometer errores. Puede acotar automáticamente las operaciones de fabricación en 3D, comprobar el grado de finalización de las cotas y mostrar de manera gráfica el estado de las cotas en imágenes en 2D. La interferencia automática y la detección de colisión aseguran que todas las pie-

zas encajan antes de construir un prototipo físico, de modo que se reduce el costo y se acorta el ciclo de diseño general para una comercialización más rápida.

- La disminución del costo total de propiedad proviene de una mayor eficiencia. Las soluciones de diseño en 3D de SOLIDWORKS se implementan de manera rápida, son fáciles de utilizar y, también, sencillas de administrar [4].

- Partiendo de los datos recolectados en la investigación, tomando como referencia la empresa Bio Papel planta Atenquique, ubicada en la carretera libre Guadalajara-Colima, Km 10, 49820 en Atenquique, Jalisco.

De acuerdo con las características con las que cuenta los distintos espacios de la empresa se establecieron las especificaciones técnicas del patín eléctrico.

- **Dimensiones.** Las dimensiones más apropiadas son 1.40 metros de largo, .60 metros de ancho y una altura de .10 metros del nivel de suelo.

- **Peso que debe transportar.** El peso promedio a transportar es de 200 kilogramos.

- **Distancias que debe recorrer.** Son diversas las distancias que se deben recorrer, la más prolongada fue de 2 kilómetros.

- **Peso que debe soportar.** Se determinó que el peso cuando sea utilizado como banco de trabajo es de 50 kilogramos.

Las principales áreas de la empresa Bio Papel planta Atenquique se muestran en la figura 2.



Figura 2. Principales áreas de trabajo. Fuente Elaboración propia.

Donde se puede observar que el departamento de mantenimiento representado con la letra a tiene una distancia de 0.80 km del área de Afluentes y tratamiento de agua representado con la letra f.

Las herramientas que se utilizan con mayor frecuencia por los técnicos de mantenimiento fueron:

- Martillos de acero y goma.
- Dados mecánicos.
- Llaves mecánicas, inglesas y milimétricas.
- Destornilladores.

Se identificó que, el peso promedio de la caja de herramientas para el transporte de las mismas es de aproximadamente de 20 kg.



Figura 3. Cajón de herramientas: a) cerrado, b) abierto. Fuente Elaboración propia

Diseño del prototipo

Se realizó, el diseño del chasis del patín, así como de sus componentes, mediante el software SolidWorks.

Inicialmente se tenía considerado la plataforma fija donde el conductor podría montarse y trasladar la una caja de herramientas, conforme se fue avanzando en el diseño se identificaron diversas necesidades que requirieron ajustes, en el caso de la plataforma, se le acoplo un sistema de elevación, con el fin de convertirla en una mesa de trabajo que facilitará la manipulación de las herramientas por parte del conductor.



Figura 4 Plataforma retraída. Fuente Elaboración propia.



Figura 5 Plataforma accionada. Fuente Elaboración propia.

Una vez que se integró y determinó el diseño, continuo el análisis de esfuerzos de la estructura del patín, con apoyo del software ANSYS el cual es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, en donde se incluyen las fases de preparación de meshing o de malla, ejecución y post proceso, el programa ejecuta un análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico, puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas [5].

Para efectos de dicho análisis fue necesario exportar la pieza realizada previamente en SolidWorks, una vez emigrada se llevó a cabo un análisis estático de esfuerzos, asignándose primeramente el material (acero genérico tubular PTR) y después los puntos estáticos y cara del chasis del patín, donde se aplicaría la fuerza de 1,960 Newton.

Una vez ingresados estos parámetros se agregaron los indicadores de deformación, elasticidad de materiales, estrés equivalente y tensión elástica, se procedió a la ejecución del análisis y, después de unos segundos el software determinó los resultados que aparecen en la figura 6.

$$W = (200 \text{ kg}) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 1960 \text{ N} \quad \text{Ec. (1)}$$

Se puede observar los resultados de dicho análisis donde, la figura 6 a) nos muestra el estrés equivalente, valor máximo de: 8.6213e6 Pascales. En el análisis de tensión elástica figura 6 b) el resultado obtenido fue de 7.0515e-1 m/m. y finalmente en el análisis de deformación, en la figura 6 c) podemos observar que la máxima deformación es de 7.224e-5 m. De acuerdo con la representación de colores se puede determinar que la deformación no fue significativa.

RESULTADOS

Una vez obtenido el diseño y el análisis estructural, se realizaron los cortes del material necesario para el armado de la estructura del patín, acorde a las medidas establecidas inicialmente, una vez teniendo el material se procedió con la construcción del chasis de patín. También se realizó la construcción y ensamble por medio de soldadura 7018.

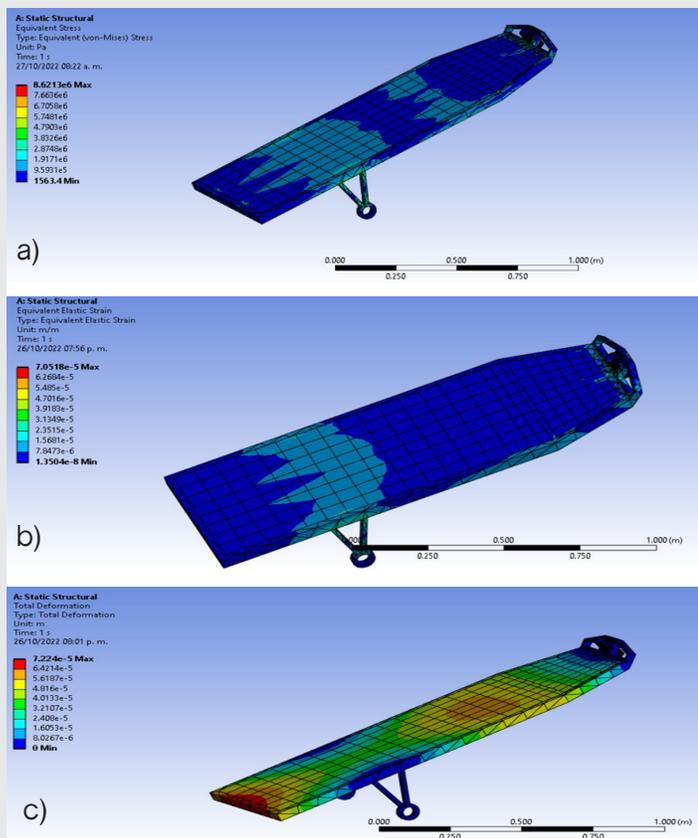


Figura 6. Análisis estructural. a) Análisis de estrés equivalentes (Von-Mises), b) Análisis de tensión elástica, c) Análisis de Deformación total. Fuente Elaboración propia.

Para determinar esta fuerza se consideraron los 200 kg que inicialmente se establecieron como capacidad de carga del patín, al ser un peso en kilogramos se realizó la multiplicación por la gravedad con un valor de 9.8 m/s² y así obtener la fuerza en Newton.

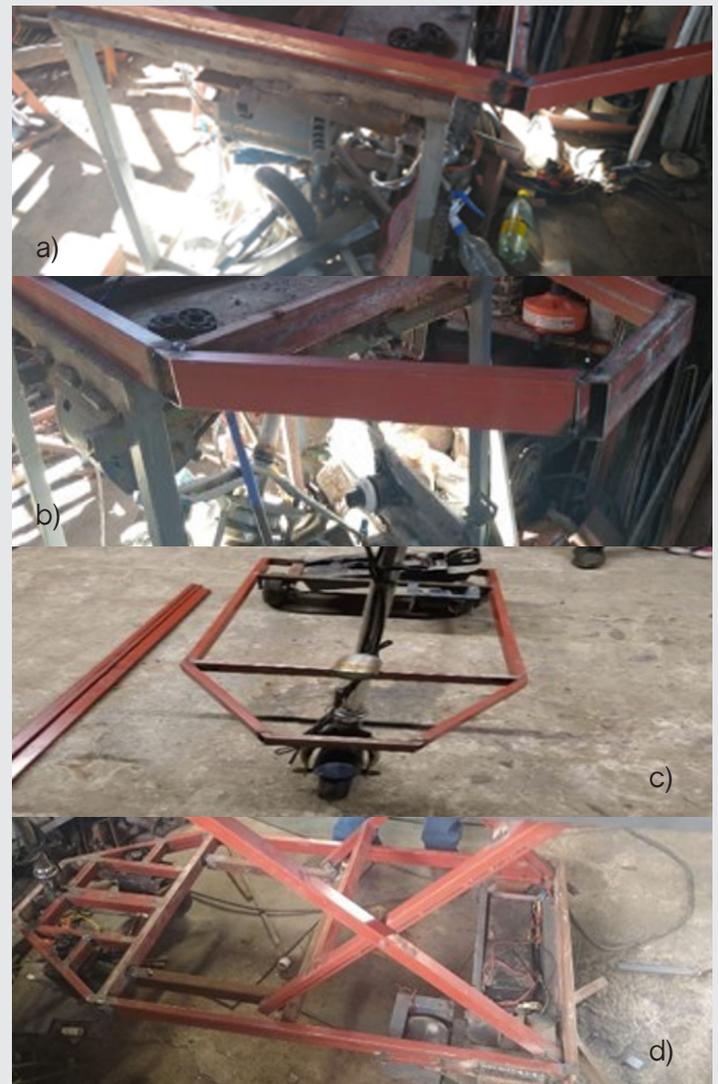


Figura 7. Proceso de construcción del patín eléctrico: a) Corte de elementos de chasis, b) Proceso de soldadura inicial de chasis, c) Montaje de manubrio y llantas, d) Armado del sistema de elevación de la plataforma. Fuente Elaboración propia.

Para sistema de tracción se instaló un motor de 24 volts y 250 watts acoplado a la llanta izquierda trasera.



Figura 8. Motor eléctrico de 24 volts, 250 watts.
Fuente Elaboración propia.

El motor será alimentado por dos acumuladores de 12 volts, 12 Ah, conectadas en serie.



Figura 9. Acumulador de 12 volts, 12 ha.
Fuente Elaboración propia.

Una vez montados el motor y los acumuladores, se llevó a cabo la instalación del cableado de los componentes antes mencionados.



Figura 10. Instalación del motor eléctrico, acumuladores y cableado. Fuente Elaboración propia.

Se realizó el ensamble y la aplicación de pintura en el prototipo de cada uno de sus componentes, teniendo

como resultado final se obtuvo un prototipo funcional de un patín eléctrico tripulado, para carga de herramientas de mantenimiento. Otro aspecto a resaltar del uso de este tipo de vehículo es el costo mínimo que implicaría debido a que, por ser un vehículo eléctrico, su funcionamiento dependerá de una batería cuyo rendimiento es de aproximadamente 30 km por ciclo de carga, con una velocidad máxima dentro de los pasillos de la planta de 0.5 km/h y 10 km/h en el exterior, como se establece la PROY-NOM-001-STPS-2007 [6], además de ser elaborado con materiales duraderos, como acero tubular PTR ya que presenta una mayor disponibilidad en el mercado y además presenta un menor costo al resto de los materiales similares, en conjunto con el aluminio aleación 6061, el cual es un metal anticorrosivo y con tecnología antiderrapante que ayuda a evitar accidentes por líquidos derramados, su maleabilidad permitió adaptarse a superficies sin necesidad de ser cortado.

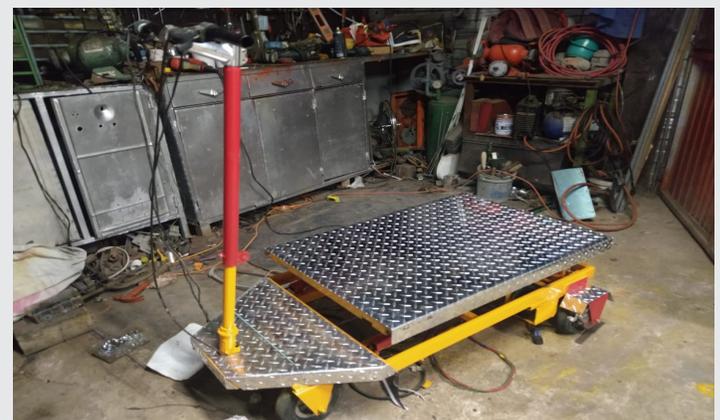


Figura 11. Patín eléctrico terminado, vista isométrica.
Fuente Elaboración propia.



Figura 12. Patín eléctrico terminado, vista lateral.
Fuente Elaboración propia.

Cabe mencionar que, durante la investigación realizada, no se encontró con un producto similar al realizado, los más cercanos a este fueron el Grupo tracción AMATE y el que, además, requiere de diversos accesorios para su funcionamiento (Figura 13 y 14). Su valor en el mercado es de \$ 183,600.00; la empresa "Carretillas AMATE" cuenta además con Andamios eléctricos

con valor cercano a los \$47, 647.00 con lo que queda claro que, la adquisición de este tipo de herramientas por parte de las empresas representaría una inversión muy elevada, en el sentido que se buscara contar con vehículos que cumplieran la función de este proyecto de diseño, sumando como limitante adicional el hecho de que estos solo se fabrican en España [7].



Figura 13. Grupo tracción AMATE.
Fuente Recuperado de Carretillas Amate.



Figura 14. Andamio eléctrico invernadero AMATE.

El patín eléctrico que se realizó requirió de una inversión mínima, lo que incrementa su viabilidad y rentabilidad gracias a que se utilizaron materiales de costo accesible, como se muestra en la tabla 1.

CONCLUSIONES

Como resultado de las diversas actividades desarrolladas como parte de este prototipo se logra identificar la importancia de tener un diseño previo a la ejecución de un nuevo proyecto, además de trabajar con los diferentes módulos que conforman los softwares SolidWorks y Ansys. Este último software mencionado fue una herramienta importante para realizar el análisis de elementos finitos y con ello identificar las propiedades de deformación, elasticidad y resistencia de los materiales utilizados, que nos permitió la construcción del prototipo.

Tabla 1. Costo de materiales.

Costo de materiales del patín	
Llantas	\$1,200.00
Placa aluminio	\$690.00
Baterías	\$2,268.00
4 m de PTR	\$400.00
Luz Trasera	\$159.00
Cuenta km	\$629.00
Luz Delantera	\$336.00
Torretas	\$760.00
Indicador Batería	\$149.00
Motor 24 controlador	\$1,000.00
Pintura	\$300.00
Cable	\$200.00
TOTAL	\$8,091.00

Fuente Elaboración propia.

El realizar este tipo de proyectos, nos permite generar prototipos funcionales que abonan a la solución de problemáticas, en este caso facilitar el traslado de herramientas, evitando la fatiga por los técnicos, además de reducir los tiempos en el traslado del taller al punto donde se identifique la falla, acortando los tiempos de reparación y evitando paros en las diferentes máquinas que en ocasiones se ven repercutidos en la producción y en consecuencia en el ingreso económico de las empresas.

El enfoque del proyecto deja claro que, buscar mejorar el funcionamiento de las empresas a partir de brindar especial atención al mantenimiento, se deben priorizar en un futuro, proyectos encaminados a dar solvencia a las necesidades que suelen presentarse desde esta área, el mantenimiento es la columna vertebral de toda empresa ya que, restar importancia a la labor que desde aquí se desempeña podría ser una de las mayores fallas generadoras de pérdidas para cualquier tipo de industria.

Trabajo a futuro

Se tiene contemplado realizar algunas mejoras en a partir de los resultados obtenidos los cuales son:

- Emplear un motor de mayor capacidad que permita al patín una mayor fuerza de transporte y carga, por ejemplo, uno de 2000 watts de potencia y 48 volts.
- Instalar una suspensión que permita utilizar el patín en terrenos irregulares, ya que la falta de esta limita a su funcionamiento a áreas.
- En referencias a la dirección del motor, se recomienda la instalación de una dirección hidráulica que facilite su manejo y reduzca el esfuerzo por parte del operador.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Cárcel, F, J. (2015, abril). Consecuencias de la mala gestión del conocimiento en el mantenimiento industrial. Análisis de casos. Consultada el 21 de agosto de 2001 <https://www.tecnicaindustrial.es/consecuencias-de-la-mala-gestion-del-conocimi/#:~:text=%E2%80%93Un%20elevado%20tiempo%20de%20respuesta,activos%20tangibles%20de%20la%20empresa>

[2] ARQUITECTOS ESPECIALIZADOS DEL NO-ROESTE. (2014-2018). Importancia de la Administración del Mantenimiento Industrial. Obtenida el 20 de junio de 2022, de la página electrónica: <https://aen.mx/importancia-de-la-administracion-del-mantenimiento-industrial/>

[3] Heintzelman, J. E. (1987). Manual de la administración del mantenimiento. (pp. 27). Shaumberg III, Lineal c1987.4

[4] SOLIDWORKS. Dessault Systemes. (n.d.). Productividad. Obtenida el 20 de junio de 2022, de la página electrónica: https://www.solidworks.es/sw/why-solidworks/10753_ESN_HTML.htm

[5] 3D CAD Portal. (n.d.). ANSYS. Obtenida el 20 de junio de 2022, de la página electrónica: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>

[6] México. Diario Oficial de la Federación. (2008). Norma Oficial Mexicana. PROY-NOM-001-STPS-2007, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condición de seguridad.

[7] AMATE. (n.d.). MAQUINARIA. Obtenida el 20 de junio de 2022, de la página electrónica: <https://www.carretillasamate.com/8-maquinaria>



Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Usos actuales y tendencias del estropajo vegetal *Luffa cylindrica* L. en sectores industriales y comerciales



Colaboración

Marieli Lavoignet Ruiz; Margarito Landa Zárate; Luis Enrique García Santamaría, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Misantla; César Argüelles López, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre; Ligia Herrera Franco, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado

Fecha de recepción: 10 de octubre de 2022

Fecha de aceptación: 30 de noviembre de 2022

ABSTRACT: *This paper presents the current state of the different industrial and commercial trends of the *Luffa cylindrica* L. –luffa–. Research on commercial search engines, and scientific articles, was conducted. The objective of the exploration seeks to assess this biodegradable natural fiber as an alternative that strengthens the primary sector. The results show the opportunity to use this natural fiber in various economic sectors as the cosmetic industry, household utensils, and the automotive industry. These findings let to serve a current market by the trend towards natural fiber use.*

KEYWORDS: *Scourer, Natural Fiber, *Luffa Cylindrica*, Wild Pumpkin, Sponge Plant.*

INTRODUCCIÓN

La luffa pertenece a un género con cinco especies de plantas con flores que son de la familia de las Cucurbitaceae, *Luffa acutangula*, *Luffa cylindrica*, *Luffa echinata*, *Luffa operculata*, *Luffa sepium*, es nativa del Viejo Mundo (Asia o África) [1].

Taxonomía

Luffa cylindrica L.

Reino: Plantae

Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)

División: Magnoliophyta (plantas con flor)

Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: Dilleniidae

Orden: Cucurbitales

Familia: Cucurbitaceae

Género: *Luffa*

Especie: *Cylindrica*

La *Luffa cylindrica* (Linn.) es una planta sensible a la salinidad y no es conveniente cultivarla cerca del mar; requiere suelos bien

RESUMEN: Este artículo presenta una exploración de los usos actuales y tendencias industriales y comerciales de la *Luffa cylindrica* L. (LC) –luffa–. La investigación se realizó en motores de búsqueda comerciales y artículos científicos. El objetivo de la exploración busca valorar a esta fibra natural biodegradable como una alternativa que fortalezca al sector primario. Los resultados muestran la oportunidad de utilizar esta fibra natural en diversos sectores económicos como la industria cosmética, utensilios para el hogar, entre otros como el automotriz. Estos hallazgos tienen su utilidad para atender un mercado actual marcado por la tendencia al uso de fibras naturales.

PALABRAS CLAVE: Estropajo, Fibra Natural, *Luffa Cylindrica*, Calabaza silvestre, Planta esponja.

drenados, ricos en materia orgánica y con abundante nitrógeno, y fósforo, su cultivo prefiere temperaturas elevadas, pero es igualmente adaptable a climas templados donde varía la calidad y características de la fibra, así como también su elasticidad y resistencia, [2]. Se considera una fibra natural con alto potencial en usos comerciales e industriales [3].

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) eligió 2009 como el Año Internacional de las Fibras Naturales (AINF). El AINF tuvo como objetivo de concienciar a los consumidores de la importancia de los cultivos de fibras naturales (FN) promoviendo su producción y consumo (FAO 2009). De tal forma que, a nivel mundial, se producen unos 30 millones de toneladas de FN, a pesar que, su consumo se ha sustituido desde los 60's por materiales sintéticos, sin importar las ventajas que representan para el medio ambiente, la salud y la seguridad alimentaria [4].

En la actualidad los mercados verdes y las nuevas reglamentaciones ambientales han abierto un potencial inmenso para el mercado de FN [5]. Así mismo, por las ventajas técnicas y de costos que aportan, las FN se reconocen como un sucedáneo favorable de las fibras sintéticas, que utilizan insumos insostenibles, ya que las FN ejercen una atracción mayor apelando a la sensibilización del consumidor [6]. Tal es el caso que la [6], respalda estas actividades a través de normas ambientales, de sostenibilidad y sociales, fomentando el crecimiento de la agricultura sostenible; uso de tecnologías de producción y elaboración inocuas para el medio ambiente; promoviendo el desarrollo económico, y fortaleciendo la participación de pequeños propietarios en la cadena de valor de las FN. Las FN como sector agrícola generan anualmente unos 29.000 millones de euros [7]. El valor económico de las FN es elevado en países en desarrollo, donde puede alcanzar hasta la mitad de las exportaciones [8].

En México, las FN son representativas del país y se han producido y transformado en diversos productos desde las culturas mesoamericanas [9]. En este sentido, la LC como FN, se ha usado tanto en el ámbito de higiene personal, doméstico e industrial, y es a la vez una alternativa a las fibras sintéticas.

En los últimos años, la demanda de LC se ha incrementado debido a que cada vez es mayor la cantidad de consumidores que optan por artículos naturales para el aseo personal, principalmente. Los principales importadores son Inglaterra, Holanda, España, Francia, Alemania e Italia [10].

Aun cuando se ha reportado información en Europa y Latinoamérica del aprovechamiento y rendimiento en el cultivo de LC [11-12]; en México sobre todo en comunidades rurales asentadas en la sierra, no se cuentan con datos que puedan ser aprovechados para el culti-

vo de LC y el aprovechamiento de sus fibras naturales [13]. Si bien en Veracruz-México, se tiene presencia de plantas en terrenos baldíos y en patios de viviendas, la realidad es que, a la fecha, no se cuenta con acceso a los datos de producción de LC. En este contexto, este artículo propone una exploración de los usos actuales y tendencias comerciales e industriales que se están desarrollando de esta fibra natural (LC). Como resultado de esta exploración bibliográfica, estos resultados son útiles para la comunidad científica preocupada por aprovechar fibras naturales para el diseño de procesos sustentables.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología para el desarrollo de este trabajo se ha determinado a través de cuatro pasos como lo muestra la Figura 1. El paso 1 incluye una revisión documentada de artículos técnico científicos localizados a través de la aplicación de buscadores comerciales como son: google académico, redalyc y scielo utilizando las palabras clave mencionadas al inicio de este artículo. En el paso 2 se realiza una selección de los artículos localizados a través de la lectura de sus resúmenes. En el paso 3 se extrae la información útil para el sustento de este trabajo de investigación y en el paso 4, se elabora el informe de resultados de la investigación realizada.

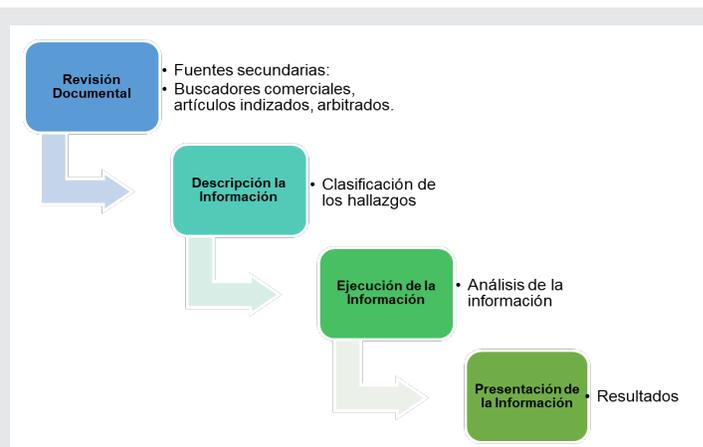


Figura 1. Metodología de la revisión

RESULTADOS

El uso comercial ha sido tal que de acuerdo con lo reportado en [14] a la fecha la LC se utiliza en suelas para zapatillas o sandalias, rellenos para las industrias automotriz (relleno de asientos), mobiliaria (relleno de muebles) y textil, base para cierta variedad de papel, filtros para piscinas, filtros para agua y aceite.

El uso de las fibras como comestibles y una vez maduras se utilizan generalmente en el lavado de barcos y cubiertas y en la fabricación de zapatillas o cestas y se utilizan como tapetes para zapatos, tela interior del capó [15].

[16] realizaron la extracción y caracterización fisicoquímica y microbiológica del aceite de las semillas de luffa,

en la cual las propiedades físicas y químicas evaluadas se encontraron dentro de los parámetros establecidos por la normatividad colombiana para aceites de uso cosmético; mientras caracterización microbiológica del aceite fresco, se encontró que éste no cumple en su totalidad con la normatividad nacional vigente, pues el recuento de mesófilos, mohos, levaduras y *S. aureus*, sobrepasan el límite establecido.

[17] inmovilizó y aplicó catalizador de Dióxido de Titanio (TiO_2) sobre estropajo (LC) para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Destacando una inmovilización por impregnación que logró una disminución en la concentración de un 35% y una operación consistente a través del tiempo en la prueba de vida útil.

En el plano industrial, hay una variedad de productos que toman a la esponja vegetal como materia prima en la elaboración de filtros para agua y aceite, así como para calderas y destilerías, rellenos para muebles y embalajes, planchas acústicas, fabricación de papel, cartón, entre otros. De las semillas se extrae un aceite de alta calidad, comparable al aceite de oliva, mientras que los tallos y hojas tienen diversos usos medicinales. [2] Realizó la caracterización fisicoquímica preliminar de la luffa a través del contenido de humedad y cenizas, temperatura de descomposición y quemado ante la adición de diferentes reactivos en solución logrando establecer que la luffa tiene un poder ignífugo natural al presentar cierta resistencia a temperaturas relativamente altas, característica que se puede potencializar ante la adición de reactivos en solución.

[15] mencionaron las potencialidades de cultivo de LC en las diferentes áreas: agricultura, la medicina, la ciencia, la ingeniería y la biotecnología, considerando los principales avances y descubrimientos.

[18] realizó tintura de la fibra de luffa con colorantes naturales para elaborar productos artesanales. Menciona que la obtención de los tintes de las plantas es más rápido, menos complicado y resulta más económico que el proceso obtenido con etanol. Se puede obtener diferentes colores y tonos, utilizando los mordientes tales como: sulfato de cobre, sulfato de aluminio, sulfato de hierro, vinagre, sal, ceniza, etc, también realizando mezclas unos con otros.

[19] presentaron una revisión de literatura sobre los usos de luffa, como fuente vegetativa y remedio natural para el tratamiento de diversos trastornos degenerativos, incluidos trastornos inflamatorios y enfermedades hepáticas, mordeduras de serpientes, convulsiones, calambres, tétanos, catártico, hidropesía, nefritis, bronquitis crónica, asma, sinusitis y fiebre, entre otros.

[20] experimentaron un filtro piloto a base de LC para observar la eficacia filtrante de la esponja, en un proce-

so constituido por cuatro etapas arregladas en serie y con diferencial de densidad en dirección del flujo del agua de prueba; concluyendo el reporte con la evidencia de una alta eficiencia hidráulica de la esponja en un filtro horizontal, con una capacidad del 80% en la inmovilización de microorganismos.

[21] desarrollaron un plan de negocios para determinar la viabilidad de una empresa productora y comercializadora de zapatos de tela con plantillas de luffa en el Norte de Quito y Valle de Tumbaco, resultado favorable y completamente rentable.

[22] evidenciaron la posibilidad de utilizar fibras de LC para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales industriales, destacando que sus ventajas adicionales se refieren a su economía, no toxicidad, sostenibilidad y biodegradabilidad, además que es un bio-adsorbente eficaz, capaz de retener metales pesados en sus nano-fibras. Concluyendo que la LC ofrece una opción barata y tecnológicamente accesible para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales.

[23] presentaron un estudio con las características específicas que se examinan para eliminar el colorante azul tripán de los residuos utilizando una esponja luffa (LS) y una esponja de luffa modificada con nanopartículas de zinc (ZnNPs). Logrando la eliminación óptima del tinte azul de tripán con un pH 7, logrando el equilibrio en 30 minutos.

[24] propusieron un sistema biodegradable y compatible con el medio ambiente, usando Luffa como agente para la recuperación de suelos erosionados a causa de incendios forestales que, a su vez, con la degradación natural, también serviría para nutrir el suelo y disminuir los tiempos de recuperación.

[3] desarrollaron un estudio de producción y comercialización de la fibra de LC como materia prima para el sector de la Construcción en Colombia, para dos aplicaciones: fibrocemento y construcción liviana en seco, a partir de la recopilación y análisis de información existente. Teniendo como resultado un alto potencial desde el punto de vista técnico y financiero para medianos y grandes productores.

[25] demostraron que la suplementación con luffa mejoró la disbiosis del microbiota intestinal a través de las mejoras en las bacterias productoras de AGCC, manteniendo la integridad de la barrera intestinal y aliviando el desarrollo de la obesidad. Mencionan que en general, la LC proporcionaría una posible estrategia de intervención dietética contra la obesidad y la disbiosis de homeostasis enteral mediante la modulación de la microbiota intestinal.

[26] presentó una revisión la cual centra en el uso alternativo de la biomasa de Luffa (antes y después de la

modificación química) en el proceso de tratamiento de aguas (residuales), dando énfasis específico al efecto de los parámetros de adsorción (como la concentración inicial, el pH de la solución, el tiempo de contacto, que afectaron el proceso de adsorción y la termodinámica de la adsorción.

[27] promovieron el reciclaje de los recursos descartados industrialmente para prevenir la contaminación ambiental causada por la incineración. Utilizaron abundantes desechos de luffa y fibras de poliéster respetuosas con el medio ambiente como materias primas para producir compuestos absorbentes de sonido de fibra de Luffa mediante la tecnología limpia de prensado en caliente, revelando un material absorbente de sonido de alta eficiencia, así como una superficie suave y un buen rendimiento de amortiguación.

[28] describieron la producción de un compuesto a base de resina de poliéster reforzado con fibras de la planta trepadora luffa y evalúa su comportamiento mecánico. Comentando en general, el compuesto puede ser una alternativa viable para aplicaciones no estructurales donde se requieren materiales livianos, como artesanías y mamparas de oficina.

[29] utilizaron las fibras de LC para eliminación de plomo y azul de metileno. Los resultados mostraron que los compuestos de luffa/HAp fueron más efectivos en la eliminación de iones Pb^{2+} que MB en comparación con luffa sin HAp, y viceversa.

[30] evaluaron y compararon los efectos de dos tratamientos termoquímicos de bajo costo y bajo impacto sobre fibras de LC para verificar por qué se alcanzan diferentes resistencias mecánicas al aplicar estas variaciones en la producción de bloques de tierra comprimida.

[31] evaluaron el uso de la fibra de Luffa Cylindrica en un proceso de bio-fabricación digital para conocer sus posibles aplicaciones en el biodiseño como un material biológico, con una forma diseñada digitalmente; mencionando que los cambios en la morfología de la fibra generados desde el diseño parametrizado pueden permitir utilizarlo en aplicaciones donde se requieren formas tridimensionales, que anteriormente eran logradas mediante la inyección de espumas en moldes, lo cual no es posible actualmente con su geometría naturalmente cilíndrica y parcialmente plana al ser laminada, la cual tiene la tendencia a retornar a su forma en presencia de humedad, además, el uso de modelos paramétricos pudiese permitir hacer modificaciones en el diseño del molde para ajustar la geometría de la fibra a modificaciones en productos, abriendo oportunidad a la biomanufactura.

Estos hallazgos dejan abierta la investigación para estudiar futuros orientados para aprovechar la Luffa cylin-

drica (L.) en procesos industriales, por ejemplo, empaque de mercancías, material aislante de sonido, diseño de biofiltros, composición como sustratos en medio filtrantes, o bien, en sustratos para plantas como medio de cultivo.

CONCLUSIONES

En la exploración de literatura, se revisó la información en motores de búsqueda comerciales y artículos científicos, de los últimos 15 años, lo que permitió conocer sus usos desde la antigüedad, actual y las tendencias que puede tener. Los resultados obtenidos se clasificaron en las categorías de: Negocios de Agricultura, Industria textil, Industria química, Industria alimenticia, Industria farmacéutica, Industria de la Construcción, Medicina. En todo sentido, son susceptibles modelos económicos de empresas para la producción y comercialización de zapatos, bolsos, tapetes, estropajos y esponjas, rellenos de colchones y embalajes; formulación de nutrimentos de suelos y recuperación de suelos erosionados por causa de incendios; tratamiento de aguas residuales, tintes naturales de fibra; entre otros afines a esta clasificación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] "CONABIO," 2020. <https://acortar.link/UfsLGg>. (accessed Oct. 29, 2022).
- [2] L. F. Navarrete and D. J. Martínez, "caracterización preliminar del estropajo"luffa cylindrica" como posible materia prima para construcción," 2009.
- [3] L. Ramirez Torres and Z. Neisa Pulido, "Producción y Comercialización de la Fibra de Luffa Cylindrica Como Materia Prima para Fibrocemento y Elementos de la Construcción Liviana en Seco," Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019.
- [4] ECOGAI A and R. D. D. SOSTENIBLE, "las ventajas de las fibras naturales," 2017. <https://acortar.link/a2domV>.
- [5] D. M. Rodas Arias, "evaluación de empresas y productos de la diversidad biológica en risaralda," 2009. [Online]. Available: <https://acortar.link/y5LmQL>.
- [6] FAO, "el estado mundial de la agricultura y la alimentación," 2021. <https://acortar.link/lgr3vi>. (accessed Sep. 29, 2022).
- [7] A. F. Vargas-R ueda, J. E. Rivera-Hernández, M. de J. Cházaro-Basáñez, and G. Alcántara-Salinas, "New records for the flora of Veracruz in the Canon del Rio Blanco National Park, Mexico," *Acta Bot. Mex.*, no. 126, 2019, doi: 10.21829/ABM126.2019.1429.
- [8] J. Riechmann, "agricultura, ganadería y seguridad alimentaria: la necesidad de un giro hacia sis-

- temas alimentarios sustentables Introducción,” pp. 1–18, 2010, [Online]. Available: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/seg25.pdf>.
- [9] O. Infante Torres, “El aprovechamiento de Fibras Naturales del Altiplano Potosino como materia prima para el desarrollo de productos, a través de un modelo de clasificación,” Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2011. [Online]. Available: <https://cutt.ly/U1bz7vl>.
- [10] FORBES, “El estropajo está al alza,” *Economía y Finanzas*, 2015. <https://www.forbes.com.mx/el-estropajo-esta-al-alza/> (accessed Oct. 03, 2022).
- [11] IBERLUFFA, “Ibérica de Esponjas Vegetales,” 2019. <https://www.luffa-esponjas.com/es/inicio/> (accessed Oct. 03, 2022).
- [12] D. F. Sánchez Caicedo, “mejora de la eficiencia de los procesos del estropajo desde su siembra hasta su laminación,” Universidad Autónoma de Occidente, 2008.
- [13] K. Cano Martínez, A. Deveze Cardenete, M. A. Díaz Romero, and H. I. Klünder Ortiz, “exportacion de luffas (estropajos) a toronto, canada,” Universidad Veracruzana, 2000.
- [14] D. Fuentes Quintero and R. Sánchez Parra, “propuesta de la luffa cylindrica como absorbente acústico aplicable a recintos con fenómenos de reverberación,” 2019.
- [15] I. O. Oboh and E. O. Aluyor, “Luffa cylindrica - an emerging cash crop,” *African J. Agric. Res.*, vol. 4, no. 8, pp. 684–688, 2009.
- [16] L. Amaya and F. Díaz, “Obtención del aceite de las semillas de luffa cylindrica y evaluación de su potencial uso en la industria cosmetica,” 2007.
- [17] M. M. Díaz-Acevedo, “Inmovilización y aplicación del foto catalizador tio₂ sobre estropajo (luffa cylindrica) para el tratamiento de aguas residuales de la industria TEXTIL,” Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Química, 2007.
- [18] A. P. Mayaquer Vasquez, “Tintura De La Fibra De Luffa Con Colorantes Naturales Para Elaborar Productos Artesanales,” Universidad Técnica del Norte, 2011.
- [19] S. Partap, A. Kumar, N. Kant Sharma, and K. K. Jha, “Luffa Cylindrica : An important medicinal plant,” *J. Nat. Prod. Plant Resour*, vol. 2012, no. 1, pp. 127–134, 2012, [Online]. Available: <http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>.
- [20] A. D.B, I. S.B, and D. N, “Determination of the Filter Potential of Luffa Sponge (*luffa aegyptiaca*) in Water Quality Analysis,” *Am. Int. J. Contemp. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 117–123, 2013, [Online]. Available: www.aijcrnet.com.
- [21] M. V. Bravo Peña and A. P. Ianotti Dávalos, “Plan de negocios para la creación de una empresa productora y comercializadora de zapatos de tela con plantilla de luffa en la ciudad de quito,” 2016.
- [22] R. Ignacio, P. Martínez, J. Fernando, M. Paredes, D. Hernán, and P. Ordoñez, “Use of the common sponge (*Luffa cylindrica*) in the removal of contaminants,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 8, no. 1, pp. 205–216, 2017.
- [23] H. Nadaroglu, S. Cicek, and A. A. Gungor, “Removing Trypan blue dye using nano-Zn modified Luffa sponge.,” 2017, doi: 10.1016/j.saa.2016.08.052.
- [24] C. Reyes and I. Matías, “Propuesta de un sistema natural y biodegradable que contemple el uso de luffa como agente para la recuperación de suelos erosionados con causa de incendios forestales.,” 2019.
- [25] L. Zhang, M. Shi, J. Ji, X. Hu, and F. Chen, “Gut microbiota determines the prevention effects of Luffa cylindrica (L.) Roem supplementation against obesity and associated metabolic disorders induced by high-fat diet,” *FASEB J.*, vol. 33, no. 9, pp. 10339–10352, 2019, doi: 10.1096/fj.201900488R.
- [26] A. Ioannis and P. Ioannis, “Environmental applications of Luffa cylindrica-based adsorbents.,” *J. Mol. Liq.*, vol. 319, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114127>.
- [27] Y. Chen et al., “A novel sound absorbing material comprising discarded luffa scraps and polyester fibers,” *Clean. Prod.*, vol. 245, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118917>.
- [28] P. Edgley Alves de Oliveira et al., “Mechanical characterization of a polyester matrix composite reinforced with natural fibers from Luffa cylindrica Hoen,” *Nativa*, vol. 9, no. 5, pp. 558–562, 2021, doi: 10.31413/nativa.v9i5.12830.
- [29] A. A. Oun, K. H. Kamal, K. Farroh, E. F. Ali, and M. A. Hassan, “Development of fast and high-efficiency sponge-gourd fibers (*Luffa cylindrica*)/hydroxyapatite composites for removal of lead and methylene blue,” *Arab. J. Chem.*, vol. 14, no. 8, p. 103281, 2021, doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103281.
- [30] M. B. Martinez-Pavetti, L. Medina, M. Espínola, and M. Monteiro, “Study on two eco-friendly surfa-

ce treatments on Luffa cylindrica for development of reinforcement and processing materials,” J. Mater. Res. Technol., vol. 14, no. August, pp. 2420–2427, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.07.141.

[31] D. Molina Mora, I. Heredia Carrillo, C. Garduño García, and M. del C. Monroy Dosta, “Tecnología & diseño,” pp. 43–54, 2021.



Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Desarrollo e implementación de un sistema de información web para el programa federal de la SEP “RENOES” (rol administrador)



Colaboración

Jesús Gómez Urbano; Jorge Carranza Gómez; Luis Ramos Baños; Rafael Hernández Reyna, Instituto Tecnológico Superior de Acapulco

Fecha de recepción: 26 de octubre de 2022

Fecha de aceptación: 05 de diciembre de 2022

RESUMEN: En este artículo, se refleja el trabajo interdisciplinario de la Maestría en Sistemas Computacionales con apoyo del CONACYT, impartida en el Instituto Tecnológico de Acapulco. Se presenta un sistema web (rol administrador), que tiene como objetivo aumentar la población universitaria a nivel nacional, por medio de la Secretaría de Educación Pública (SEP) y con el programa federal “Registro Nacional de Opciones para Educación Superior (RENOES)”. Este programa busca vincular a los aspirantes que por diversas circunstancias no fueron aceptados en alguna institución de mayor demanda del país, puedan tener la posibilidad de continuar con su educación superior en algún otro plantel educativo. Para el rol del administrador, las principales funciones que desempeñan son: publicación de convocatorias estudiantiles, la gestión administrativa de institución, planteles y carreras, la aceptación o declinación de algún candidato estudiantil. Para la culminación del sistema, se hizo uso del marco de trabajo Scrum con el uso de la metodología de desarrollo de software web OOHDM.

PALABRAS CLAVE: BackEnd, FrontEnd, OOHDM, PHP, React, RENOES, Scrum.

ABSTRACT: This article presents the interdisciplinary work of the master’s degree in Computer Systems with support from CONACYT, taught at the Instituto Tecnológico de Acapulco. And presents a web system (administrator role), which aims to increase the university population nationwide, through the Secretaría de Educación Pública (SEP) and the federal program “Registro Nacional de Opciones para Educación Superior (RENOES)”. This program seeks to link applicants who, for various reasons, were not accepted in one of the country’s most popular institutions, with the possibility of continuing their higher education in another educational institution. For the administrator’s module the main functions are: publication of student announcements, administrative management of the institution, campuses and careers, and the acceptance or declination of a student candidate. For the completion of the system, the Scrum framework was used with the OOHDM web software development methodology.

KEYWORDS: BackEnd, FrontEnd, OOHDM, PHP, React, RENOES, Scrum.

INTRODUCCIÓN

El porcentaje de la población de la república mexicana que cuenta con estudios de nivel licenciatura o superior, es muy bajo, de acuerdo con Herlinda Suárez académica del Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM, reveló que los resultados de la Encuesta Nacional de la Juventud 2010 muestran que 76 por ciento de los jóvenes de 12 a 29 años les gustaría llegar a estudiar una licenciatura, sin embargo, sólo 23 por ciento de los jóvenes entre los 18 y 29 años tienen estudios en ese nivel [1].

Esta cifra se desploma drásticamente hasta un 12% cuando se trata de la población que se ubica entre 55 y 64 años. Generando el porcentaje más bajo entre los 34 países que integran la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En una iniciativa para aumentar la población con estudios de licenciatura o nivel superior, se legisla el Artículo 38 de la Ley General de Educación Superior Federal (LGES), en el cual la Secretaría de Educación Pública (SEP), en coordinación con las autoridades de las diferentes entidades federativas y las instituciones de educación superior públicas, tienen el compromiso de establecer en conjunto el Registro Nacional de Opciones para Educación Superior (RENOES), el cual tendrá por objeto dar a conocer a la población los espacios disponibles de las instituciones de educación superior, así como los requisitos para su ingreso.

La información a la que se refiere este artículo debe ser pública y difundida a través de los medios de comunicación determinados por la autoridad educativa federal. De igual forma, se deberán habilitar las plataformas digitales necesarias, a efecto de que toda persona interesada en cursar la educación superior conozca y tenga acceso a las opciones de ingreso a alguna institución pública o particular.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema web para la Secretaría de Educación Pública (SEP) referente al programa federal RENOES en el rol administrador, que permita una gestión administrativa de instituciones, planteles y/o carreras, publicación de convocatorias estudiantiles, y la aceptación o declinación de los aspirantes que solicitan ingreso a la institución educativa.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este apartado se describen las herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema, así como la metodología de desarrollo y el marco de trabajo empleado.

Para la conclusión del sistema web en tiempo y forma, se optó por utilizar el marco de trabajo Scrum, junto con la metodología de software web OOHDm.

Desde principios de la década de los noventa, ha sido utilizado para gestionar el desarrollo de productos complejos. Scrum no es un proceso o una técnica para construir productos; en lugar de eso es un marco de trabajo dentro del cual se pueden emplear varias técnicas y procesos [2].

Por esta razón, se implementó junto con la metodología de desarrollo de software web OOHDm, la cual fue propuesta por Rossi y Schwabe en 1996 y cuyo objetivo tiene el simplificar y hacer más eficaz el diseño de aplicaciones hipermedia web [3].

Esta metodología hace uso de modelos especializados como: conceptual, navegación e interfaz de usuario teniendo como objetivo simplificar y hacer más eficaz el diseño de aplicaciones web y se divide en 5 etapas fundamentales [4] [5].



Figura 1: Fases de la Metodología OOHDm. Tomado de (Molina Rios, Zea Ordóñez, Contento-Segarra, & García Zerda, 2018).

En la Tabla 1 se puede visualizar los productos y formalismos, así como una breve descripción de las etapas que definen a la metodología OOHDm y que en conjunto promueven el proceso de refinamiento de un software de calidad.

Tabla 1: Descripción de los productos y formalismos

Etapas	Descripción	Productos	Formalismos
Obtención de requerimientos	Identificar roles y tareas, especificación de escenarios, casos de uso, especificación de UID y validación de casos de uso y UIDs.	Casos de Uso (actores, escenarios).	Plantillas de formato del documento, Diagramas de Interacción de Usuario (UIDs).
Diseño Conceptual	Genera un modelo conceptual basado en los diagramas de clases y secuenciales.	Clases, subsistemas, relaciones, atributos.	Modelo Orientados a Objetos.
Diseño Navegacional	Desarrolla una topología navegacional que permite a la aplicación ejecutar todas las tareas requeridas por el usuario.	Nodos, enlaces, estructuras de acceso, contextos, navegacionales.	Vistas Orientadas a Objetos, Cartas de navegación orientadas a objetos, Clases de contexto.
Diseño de interfaz Abstracta	Especifica las diferentes interfaces de la aplicación; para definir de qué manera aparecerán los objetos navegacionales en la interfaz y cuales objetos activarán la navegación.	Objetos de la interfaz abstracta respuestas a eventos externos, transformaciones de la interfaz.	Vistas Abstractas de Datos (ADV), Diagramas de Configuración, Cartas de navegación de los ADV's.
Implementación	Una vez realizadas las etapas anteriores, se tiene un completo conocimiento del dominio del problema.	Aplicación en funcionamiento.	Los soportados por el entorno.

A continuación, se muestran los diferentes productos o diagramas que representa el comportamiento del sistema de acuerdo con los lineamientos que establece OOHDm; para la realización de estos gráficos se hizo

uso de la del software de diseño y modelado "Enterprise Architect", basado en el estándar de lenguaje unificado de modelado (UML).

Obtención de requerimientos

Para el levantamiento de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, se realizaron reuniones virtuales, con intervalos de al menos cada 2 semanas (Figura 2) siguiendo los lineamientos del marco de trabajo Scrum.



Figura 2: Entrevistas realizadas con el equipo encargado.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los requerimientos del sistema e identificado los actores que se involucrarían con el sistema. Fue posible plasmar este proceso gráficamente, en un diagrama de casos de uso general, tal y como se muestra en la Figura 3.

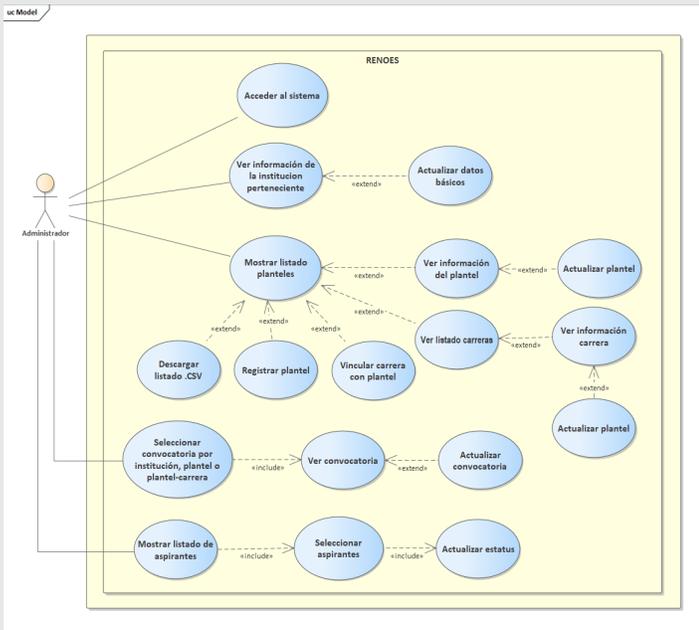


Figura 3: Diagrama de caso de uso general.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se presenta una breve descripción de las tareas detalladas que desempeña cada actor referente al rol administrativo, del sistema RENOES.

Tabla 2: Descripción de los usuarios y funciones a realizar del sistema web RENOES.

Usuario	Descripción	Funciones detalladas
 Administrador	La persona que cumpla las funciones de ser el representante de la institución educativa, por ejemplo: director, jefe del departamento administrativo, secretario, etc.	El encargado de cada universidad puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Institución: Permite revisar y/o complementar datos básicos de la institución, con la posibilidad de actualizar el logo de la escuela ▪ Planteles: A partir de un plantel elegido, se permite consultar y actualizar datos de este, además se despliegan los programas educativos que este incluye, con la posibilidad de añadir nuevos. ▪ Carreras: Listado simple de las carreras que la institución ofrece. ▪ Proceso de convocatoria: En este módulo se permite subir convocatorias estudiantiles para inscripción, se contempla que estas convocatorias sean por institución general, por plantel educativo o por plantel-carrera. ▪ Aspirantes: Lista de aspirantes que han solicitado registro en la institución, con las opciones de aceptar o denegar al aspirante, la finalidad de este módulo es dar el seguimiento correspondiente a cada candidato estudiantil.

Diseño conceptual

Posteriormente, en la Figura 4, se presenta el diagrama de clases, en el que se representan las principales entidades importantes del sistema, incluyendo sus atributos, procedimientos y eventos utilizados. Este diagrama cubre toda la parte lógica del BackEnd cuya arquitectura está basada en una API REST realizado con el lenguaje de programación en PHP.

Diseño navegacional

En esta etapa de la metodología OOADM, se definen las diferentes rutas de navegación que podrá realizar el usuario cuando interactúe con el sistema web. Para la representación de este diseño se hace uso de 2 diagramas fundamentales.

El primero de ellos es el diagrama de contexto (Figura 5), que se utiliza para entender los detalles y los límites del sistema. Señala el flujo de información que tendrá el sistema y los componentes externos de este.

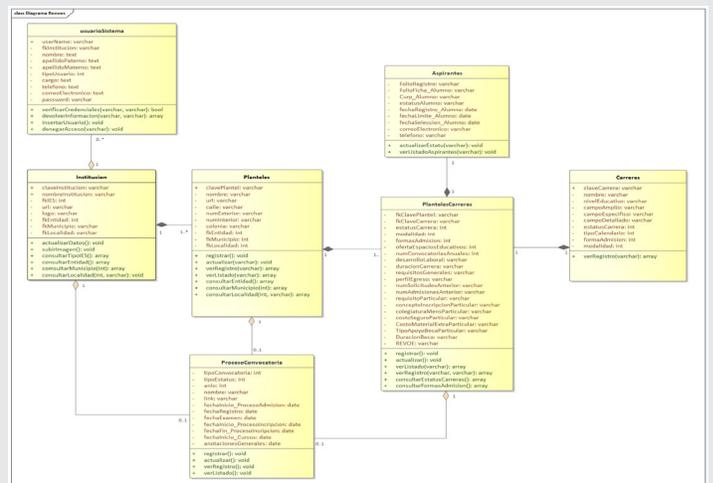


Figura 4: Diagrama de clases.
Fuente: Elaboración propia.

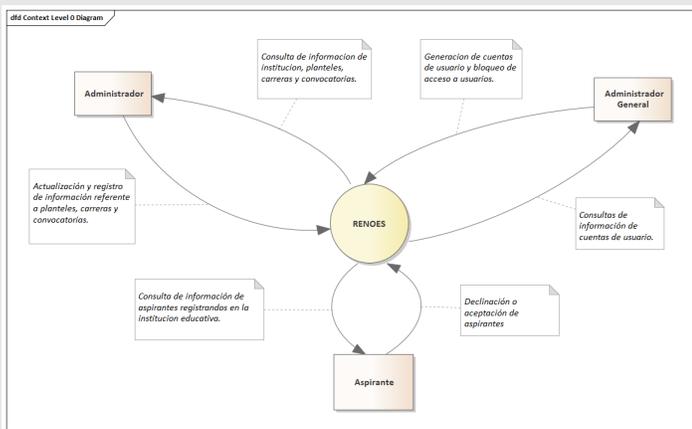


Figura 5: Diagrama de contexto.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente diagrama por mostrar (Figura 6), es el diagrama navegacional con extensión WAE.

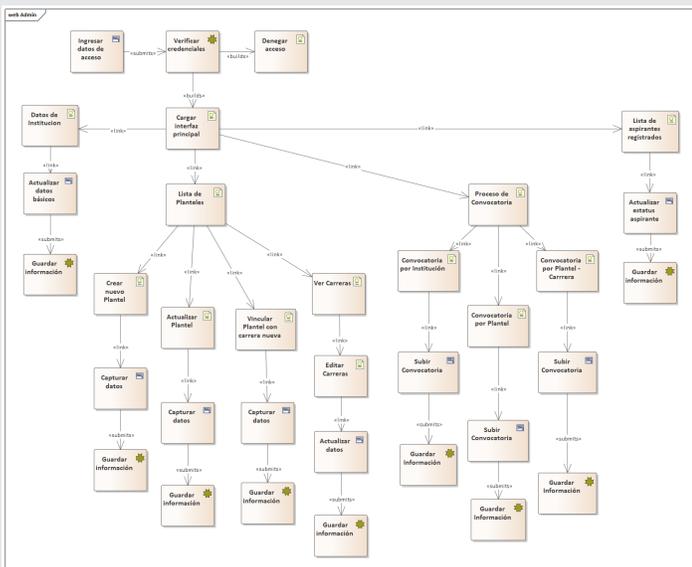


Figura 6: Diagrama navegacional con extensión WAE.

Fuente: Elaboración propia.

Dicho modelo permite representar la navegación del sistema entre las diferentes páginas que componen el sistema a través de asociaciones o enlaces hipertextuales.

Diseño de interfaz abstracta

Una vez que los diseños navegaciones han sido completamente definidos, se procede con el diseño de Interfaz abstracta principal (ADV), que especifica cómo es la organización y el comportamiento de la interfaz con los usuarios que interactúen con el sistema.

Implementación

Una vez concluida la etapa del modelado del sistema web. Se procede a mostrar la etapa de implementación. El sistema web está implementado en dos partes fundamentales: FrontEnd y un BackEnd.

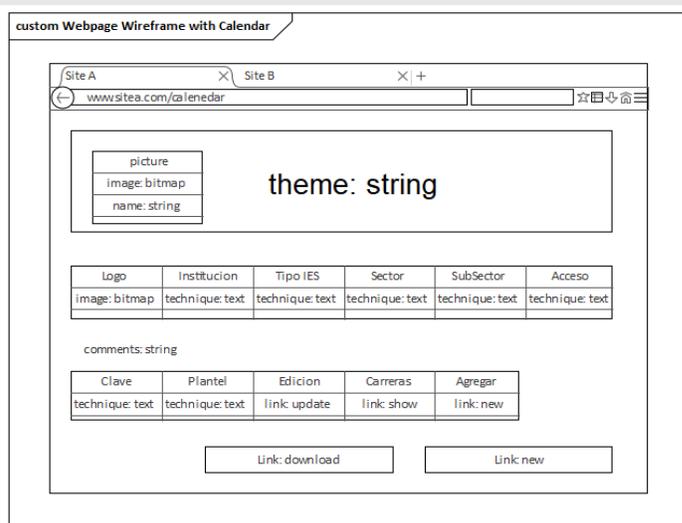


Figura 7: Diagrama ADV Principal.

Fuente: Elaboración propia.

Del lado del FrontEnd, está programado con el lenguaje de programación de JavaScript y utilizando como framework principal ReactJS que en conjunto hacen uso de los diferentes servicios que provee la API construida con el lenguaje de programación PHP.

En la sección del BackEnd, la API realiza constantes peticiones al servidor de base de datos, siendo MySQL el sistema gestor de base de datos relacional y RedHat Enterprise Linux, como sistema operativo del servidor.

La forma de representar gráficamente esta interacción puede verse en la Figura 8.

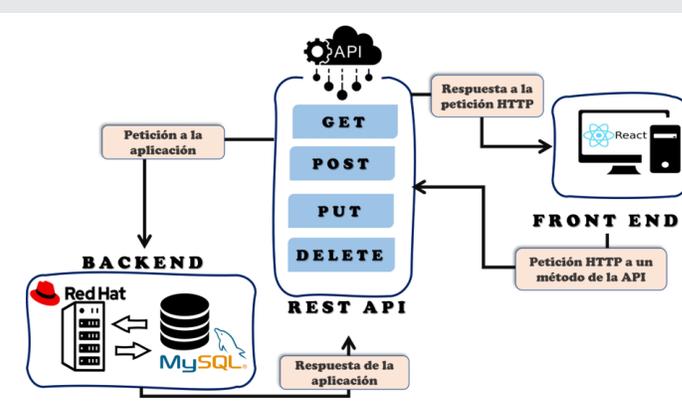


Figura 8: Arquitectura del sistema RENOES.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Actualmente el sistema web, se encuentra en su etapa de concluido y liberado, únicamente brindando soporte técnico, en caso de ser necesario. Puede ser consultado por medio de la siguiente URL: <https://renoes.sep.gob.mx/>.

Para el rol de administrador, se cuentan con las siguientes vistas principales:

Una página de inicio de sesión, que a su vez cuenta con un sistema de reCAPTCHA, el cual brinda una mayor seguridad informática evitando el uso malintencionado de bots, haciendo referencia a aquellos programas informáticos, que, entre una de sus funciones principales, es el robo de información privada.

- Editar un plantel.
- Ver todas las carreras, en base a un plantel elegido.
- Agregar una nueva carrera a un determinado plantel.
- Agregar un nuevo plantel.
- Descargar el listado de planteles en formato “.CSV” (Valores separados por comas).

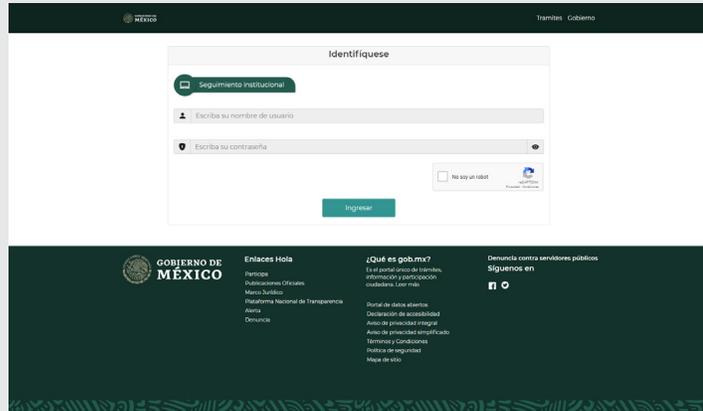


Figura 9: Sistema de inicio de sesión.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez iniciada una sesión de usuario, con las respectivas credenciales de acceso correctas, el administrador visualiza su entorno web principal, compuesto de un menú inicial de cinco opciones disponibles que puede realizar en el sistema.

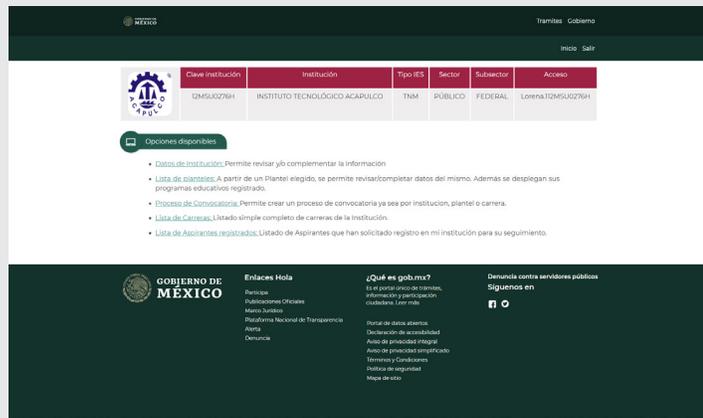


Figura 10: Menú del administrador.
Fuente: Elaboración propia.

En la primera opción disponible (Figura 11), corresponde al módulo de institución, que permite al administrador revisar y/o completar información referente a este tipo.

La segunda opción disponible, corresponde al módulo de planteles (Figura 12). El administrador al entrar a esta sección puede contemplar un menú principal en el que se visualiza un listado de los planteles que posee la institución, a la que este usuario pertenece.

De este menú, se tienen las siguientes opciones que se pueden realizar:

La tercer opción que un administrador puede realizar, tiene que ver con el proceso de convocatoria estudiantil, en este apartado se habilitan convocatorias para que los aspirantes puedan solicitar informes en los planteles educativos de su interés.

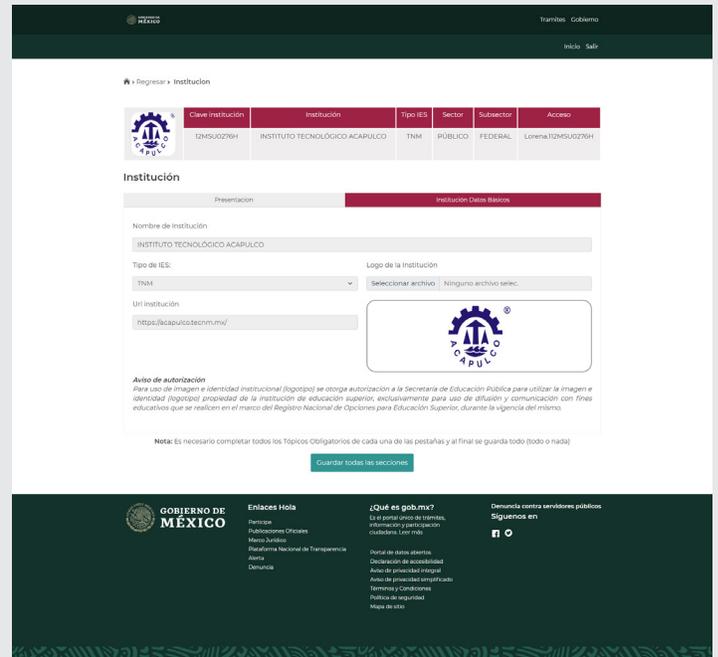


Figura 11: Datos de Institución.
Fuente: Elaboración propia.

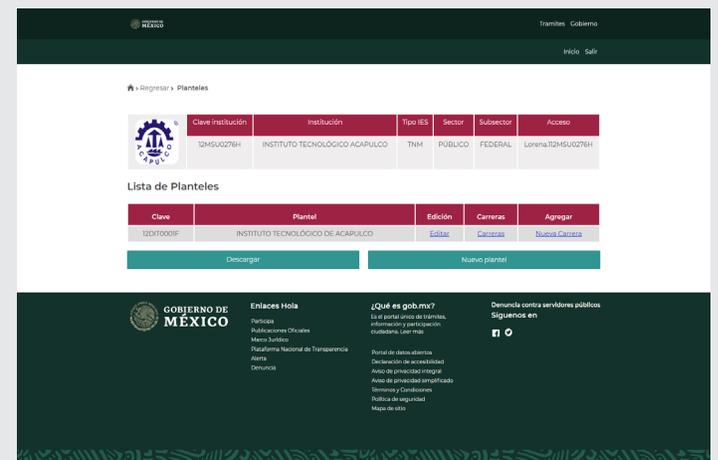


Figura 12: Menú principal del módulo de planteles.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13, se muestra una convocatoria general (convocatoria por institución), la cual contiene diferentes campos que son de interés para los aspirantes que lleguen a visualizar esta convocatoria, por ejemplo:

fechas relevantes al proceso de inscripción, inicio del examen de admisión y la publicación de resultado, etc.

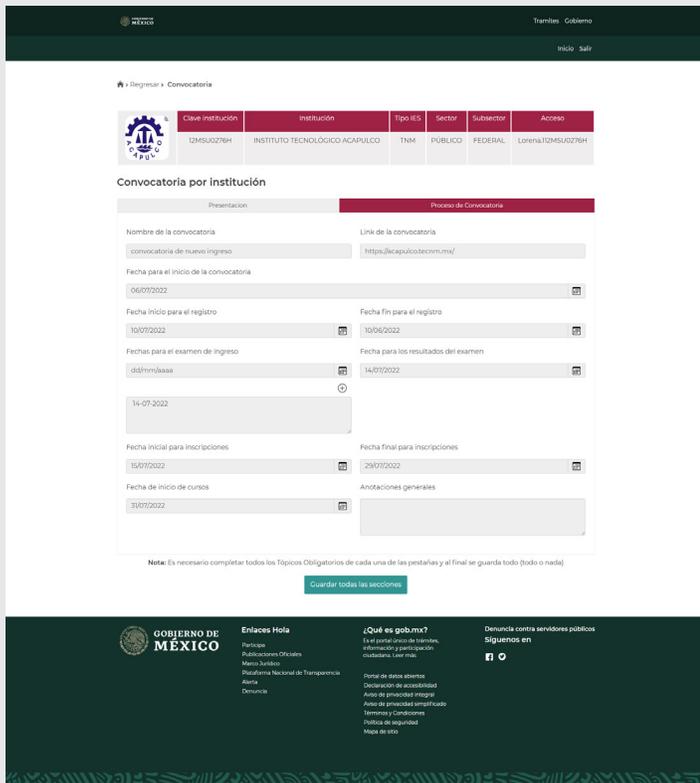


Figura 13: Convocatoria por Institución. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con los resultados, se muestra la cuarta opción del menú general (Figura 14), en donde los administradores pueden visualizar un listado de todas las carreras que posee un plantel, con las opciones de editar una carrera o descargar un listado en formato .CSV. Por último, se visualizan un listado de todas aquellas personas que ha solicitado registro, en la institución educativa (Figura 15).

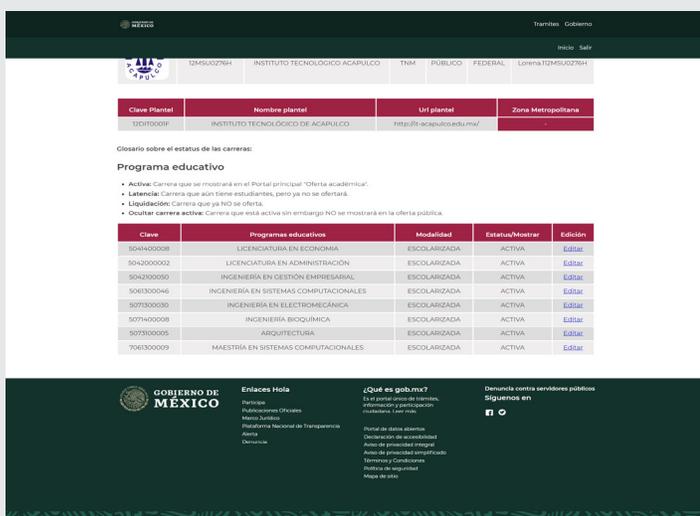


Figura 14: Listado de planteles - carreras. Fuente: Elaboración propia.

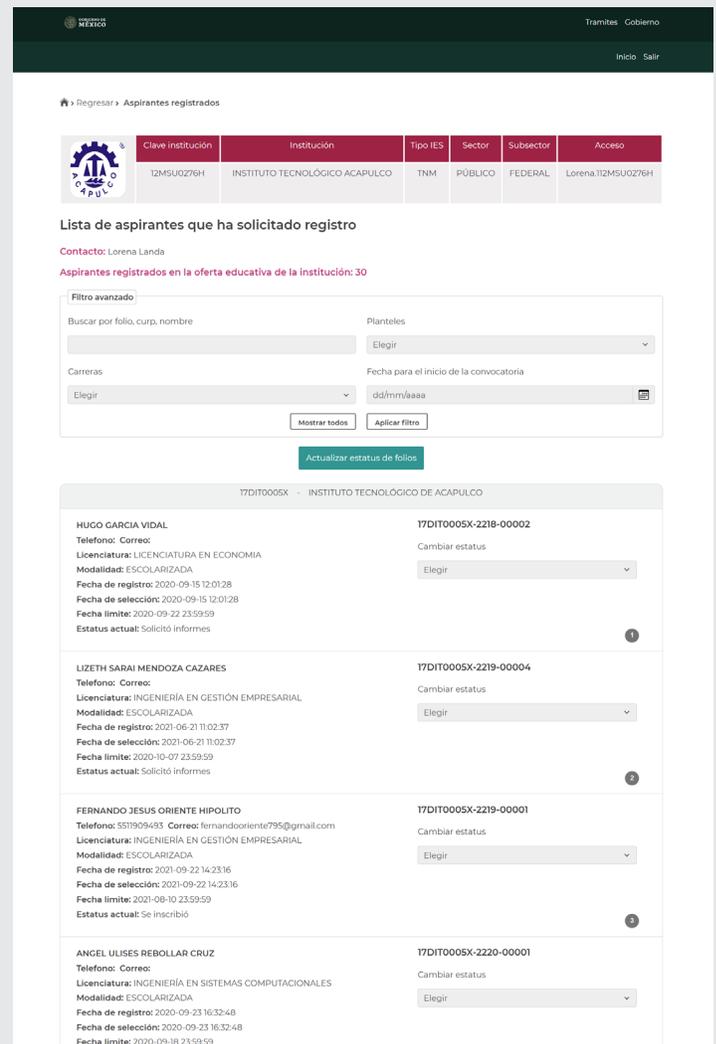


Figura 15: Listado de aspirantes que han solicitado registro. Fuente: Elaboración propia.

En este apartado se dispone de la opción de poder cambiar el estatus a un determinado aspirante, dentro de los estatus disponibles están:

- Solicito informes.
- Declinado.
- En registro de admisión.
- En examen de admisión.
- Inscrito.

CONCLUSIONES

La implementación de esta plataforma web, es una de las mejores propuestas por parte del gobierno federal para tratar de que más personas tengan la posibilidad y medios electrónicos necesarios para que puedan continuar sus estudios de nivel superior.

Tan solo en el 2019 se estimó que la plataforma generaría acciones encaminadas a aumentar la matrícula universitaria en 4% anual, lo que equivale pasar de 4.3 a 6.1 millones de alumnos inscritos en un periodo comprendido entre 2019 al 2024.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado por el Instituto Tecnológico de Acapulco, en especial a la División de Estudios de Posgrado e investigación y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

BIBLIOGRAFÍA

[1] Gracia Hernández, M. (22 de Julio de 2015). *Deserción universitaria en México*. Milenio.

[2] Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego*. Creative Commons.

[3] Schwabe, D., & Rossi, G. (1998). *Developing Hypermedia Applications using OOHDM*. *Developing Hypermedia Applications using OOHDM*. Departamento de Informática. PUC-RIO, Brazil, Brazil.

[4] Molina Rios, J. R., Zea Ordóñez, M. P., Contento-Segarra, M., & García Zerda, F. G. (2017). *Metodologías de desarrollo en aplicaciones web*. *3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*.

[5] Molina Rios, J. R., Zea Ordóñez, M. P., Contento-Segarra, M., & García Zerda, F. G. (2018). *Comparación de metodologías en aplicaciones web*. *3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*.



Ingeniantes®