



Ingeniantes®

Año 11, No.1, Vol.1

Revista de Investigación . Instituto Tecnológico Superior de Misantla

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

latindex

ISSN 2395-9452



Ingeniantes

Año 11 / No. 1 / Vol. 1

Información Legal

Ingeniantes, Año 11, No. 1, Vol 1. diciembre 2023 - junio 2024 - 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, 30 de mayo de 2023.

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.

Cuerpo Editorial

Editor General
Instituto Tecnológico Superior de Misantla
Editor
L.M. Jorge Obdulio Gerón Borjas
Coeditor
Lic. Erik Balderas González

Administración

M.I.I. Mayra Lizeth Méndez Oloarte

Propiedad Intelectual

Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología
L.M. 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
citt.itsm.edu.mx/ingeniantes
Correo electrónico:
revista.ingeniantes@itsm.edu.mx
<https://www.latindex.org/latindex/ficha/22843>

Directorio

M.G.E. Jorge Alberto Lara Gómez

Director General, ITSM, Veracruz, México

Mtro. Arturo Olguin Hernández

Director Académico, ITSM, Veracruz, México

Lic. Julio Cesar Rosas Cruz

Director de Planeación y Vinculación, ITSM, Veracruz, México

Dr. Luis Alfonso Landero Hernández

Subdirector Académico, ITSM, Veracruz, México

Lic. Adriana López Trujillo

Subdirectora de Planeación, ITSM, Veracruz, México

Dra. María Cristina López Méndez

Subdirectora de Posgrado e Investigación, ITSM, Veracruz, México

M.C.E. Lidia Herrera Domínguez

Subdirectora de Vinculación, ITSM, Veracruz, México

L.A.E. Laura Eugenia Hernández Pérez

Subdirectora de Servicios Administrativos, ITSM, Veracruz, México

Comité de Revisión

| | | |
|---|------|--|
| Dr. Luis Eduardo Velázquez Contreras, US | SNII | Dr. Cuauhtémoc Guerrero Dávalos, UMSNH |
| Dr. Luis Alberto Morales Rosales, UMSNH | SNII | Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT |
| Dr. Jesús P. Xamán Villaseñor, CENIDET | SNII | Dra. María Victoria Carreras Cruz, UP |
| Dr. Abel García Barrientos, UASLP | SNII | Dr. Alfredo Alberto Morales Tapia, UV |
| Dr. David Lara Alabazares, ITSM | SNII | Dr. Ramón Álvarez López, UDG |
| Dr. Gregorio Fernández Lambert, ITSM | SNII | Dr. Gustavo Martínez Castellanos, ITSM |
| Dra. Susana López Cuenca, ITSDZ | SNII | Dr. Arturo Cabrera Hernández, ITSM |
| Dr. Javier Esquer Peralta, UNISON | SNII | Dr. Saúl Santiago Cruz, ITSM |
| Dr. Francisco Reyes Zepeda, IEA-UAT | SNII | Dr. Joel Pozos Osorio, HUB2i |
| Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado, ITCV | SNII | Dra. Ana Lilia Sosa y Durán, ITSM |
| Dr. Jesús Antonio Álvarez Cedillo, IPN | SNII | Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín, ITO |
| Dr. Roberto Ángel Meléndez Armenta, ITSM | SNII | Dr. Guillermo Alfredo Arrijoja Carrera, UX |
| Dr. Noé Alejandro Castro Sánchez, CENIDET | SNII | Dr. Modesto Raygosa Bello, ITO |
| Dr. José Jasson Flores Prieto, CENIDET | SNII | Dr. Luis Alberto Nava Ordoñez, UPAEP |
| Dr. Adolfo Preciado Quiroz, ITSDZ | SNII | Dr. Luis Enrique García Santamaría, ITSM |
| Dr. José Luis Marín Muñoz, CV | SNII | Dr. Irahan Otoniel José Guzmán, ITSM |
| Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA | SNII | Dra. Alicia Martínez Rebollar, CENIDET |
| Dr. Julio César Chacón Hernández, UAT | SNII | Dr. Humberto Raymundo González Moreno, ITSM |
| Dr. Eddy Sánchez de la Cruz, ITSM | SNII | Dr. Alan Rico Barragán, ITSM |
| Dra. María Cristina López Méndez, ITSM | SNII | Dra. María Guadalupe Montes de Oca, ITSM |
| Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, ITSM | SNII | M.C. Clovis Nchikou, ITNL |
| Dr. José de Jesús Ibarra Montalvo, ITSDZ | SNII | M.I. Fernando Jurado Pérez, ITESI |
| Dr. Andrés Blanco Ortega, CENIDET | SNII | M.I.I. Aarón Montiel Rosales, ITSPR |
| Dr. Juan Carlos González Hernández, ITM | SNII | M.I.I. Nayeli Montalvo Romero, ITSPR |
| Dr. Heriberto Esteban Benito, ITSNA | SNII | M.I.I. Gema del Carmen Jiménez Gómez, ITSAV |
| Dra. Paula Rosalinda Antonio Vidaña, UTCV | SNII | M.I.I. Mario Pérez Acosta, ITSM |
| Dr. Sergio Aurelio Zamora Castro, UV | SNII | M.I.I. Leonardo Martínez Lara, ITSAV |
| Dra. Blanca Dina Valenzuela Robles, CENIDET | SNII | M.S.C. Arnulfo Gamaliel Hernández González, ITSM |
| Dr. Daniel Martínez Navarrete, ITSAV | SNII | M.I.M. Jorge Roa Díaz, ITSM |
| Dra. Laura Celina Ruelas Monjardín, UV | SNII | M.C. Vladimir Zagoya Juárez, ITSM |
| Dr. Luis Mejía Macario, ITSM | SNII | M.G.C. Eduardo Gutierrez Almaraz, ITSM |
| Dra. Paula Rosalinda Antonio Vidaña, UTCV | SNII | M.I.I. Giovanni Luna Chontal, ITSM |
| Dr. Sergio Fabian Ruiz Paz, UNPA | SNII | M.A. Luz del Carmen Muñoz Palacios, UTCV |
| Dr. Arturo Pacheco Espejel, IPN | SNII | M.C. Joel Maurilio Morales García, ITSM |

Ingeniantes



03



10



16



24



34



41

Contenido

Análisis comparativo del proceso manual y semiautomatizado del desespinado de nopal 03
Beatriz González Gutiérrez; Karina Joanna Lara Baranda; Katherine Jordana Lara Baranda; Martín Domínguez Sánchez,
Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Profesionalización operativa en MiPyMEs artesanales: un enfoque de factibilidad técnica 10
Areli Brenis Dzul; Miriam Luna Vega; Katherine Bravo Ariza; Mauricio Romero Montoya; María Guadalupe de la Cruz
Altamirano, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Implementación de Manufactura Celular y Herramientas Lean para incrementar la producti-
vidad en fábrica de muebles _____ 16
Elda Segovia Avila; Brandon Joseph Alvarado Contreras; Axel Enrique Guerra Escobar, Tecnológico Nacional de México /
ITS de San Pedro de las Colonias

Estudio sobre el efecto individual y las interacciones del cobre y de un detergente co-
mercial sobre la germinación y crecimiento de radícula en semillas del árbol de Cachichin
(Oecopetalum mexicanum) _____ 24
Melissa Paola Gracia Anaya; José Guillermo Franzua Perdomo; Gabriel Grosskelwing Nuñez; Francisco Antonio Rodrí-
guez Libreros; Arturo Cabrera Hernández, Tecnológico Nacional de México, campus Misantla

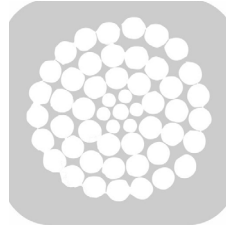
Protocolo de pruebas mecánicas para la evaluación, diagnóstico de equipos hidráulicos con
brazo aislado para izaje de personal _____ 34
Juan Carlos Méndez Gutiérrez; Miguel Ángel Esquivel Sánchez; Julio César Méndez Gutiérrez; Fernando Jurado Pérez;
Juan Martín Álvarez Ibarra, Tecnológico Nacional de México / campus Irapuato

Reciclaje térmico-catalítico de Polietileno tereftalato (PET) _____ 41
José Nolasco Cruz, Universidad de Guanajuato; Irma Pérez Hernández; Arturo Rivera López; Angélica Pérez Hernández;
Diana Ivette Montejó Arroyo, Universidad Veracruzana

Ingeniantes



46



55



62



70



77

Exploración geoelectrica para la caracterización de grietas y socavones asociados a la subsidencia y su relación con el manejo del recurso hídrico en Ciudad Guzmán Jalisco ____ 46
 Alan Méndez-Martínez; Claudia Zapién Arroyo; Fatima Ezzahra Housni, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara

Desarrollo de pruebas de comportamiento en cables ACSR / AS _____ 55
 Julio César Méndez Gutiérrez; Miguel Ángel Esquivel Sánchez; Fernando Jurado Pérez, Tecnológico Nacional de México / campus Irapuato

Modelo de fijación de precios basado en costos por proceso para las Artesanas de Hueyapan _____ 62
 Laura Carreón Romero, María Eugenia Carreón Romero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo emocional mediante indicadores de temas en redes sociales _____ 70
 Roberto Custodio Martínez; Ana Lilia Sosa López Manuel Torres Vásquez, Tecnológico Nacional de México Campus Centla

Efecto del estres hídrico sobre la germinación y crecimiento de plántula de semillas del árbol de Cachichin (*Oecopetalum mexicanum*) _____ 77
 José Guillermo Franzua-Perdomo; Melissa Paola Gracia-Anaya; Gabriel Grosskelwing-Nuñez; Arturo Cabrera-Vázquez, Arturo Cabrera-Hernández, Tecnológico Nacional de México / campus Misantla



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Análisis comparativo del proceso manual y semiautomatizado del desespinado de nopal



Colaboración

Beatriz González Gutiérrez; Karina Joanna Lara Baranda; Katherine Jordana Lara Baranda; Martín Domínguez Sánchez, Tecnológico Nacional de México / Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: Hoy en día es importante desarrollar nuevas tecnologías capaces de mejorar la calidad de los productos que llegan al consumidor. En los mercados de México el nopal se comercializa de diferentes formas, entre ellas se encuentra el nopal desespinado y cortado, procesos que se realizan de forma manual, por lo que en la institución se construyó un prototipo de máquina desespinaadora y cortadora de nopal.

La investigación se centra en el análisis comparativo del proceso de desespinado de nopal manual y semiautomatizado, con el objetivo de mejorar el proceso de desespinado actual dentro del comercio establecido y ambulante, realizando investigaciones tanto cualitativas como cuantitativas, principalmente desarrollando investigación de campo, recogiendo información de la participación de los trabajadores, enfocándose en el estudio de los tiempos y movimientos que se realizan en el desespinado con ambos procesos, midiendo su eficiencia, llegando a la conclusión que se obtiene una optimización del proceso utilizando el prototipo semiautomático, sin embargo, se identificaron áreas de mejora, teniendo en cuenta la reducción de actividades que no agregan valor al proceso.

PALABRAS CLAVE: Deming, proceso, semiautomático, nopal, mejora.

ABSTRACT: Nowadays it is important to develop new technologies capable of improving the quality of the products that reach the consumer. In the markets of Mexico, the nopal is sold in different ways, among them is the de-thorned and cut nopal, processes that are carried out manually, so a prototype of a nopal de-thorning and cutting machine was built at the institution.

The research is focused on the comparative analysis of the manual and semi-automated processes of nopal de-pinning, with the aim of improving the current de-pinning process within the established and street trade, carrying out both qualitative and quantitative research, mainly developing field research, collecting information from the participation of the workers, focusing on the study of the times and movements carried out in the de-pinning with both processes, measuring their efficiency, reaching the conclusion that an optimization of the process is obtained using the semi-automatic prototype, however, areas for improvement were identified, taking into account the reduction of activities that do not add value to the process.

KEYWORDS: Deming, process, semi-automatic, nopal, improvement.

INTRODUCCIÓN

El nopal es uno de los vegetales endémicos de México, el cual tiene diversas variantes, dependiendo de la zona geográfica, es la especie que se presenta, en el Estado de México, es un vegetal que se comercializa mucho dentro de los tianguis y mercados del centro del Estado [1], es por ello la importancia de realizar investigaciones en torno a este vegetal, tal es el caso del análisis realizado al proceso de desespinado del nopal, del cual se han realizado diversos estudios entre los que se encuentra el fotónico[2], y empleo de prototipos realizados en diversas instituciones de nivel superior [3], sin embargo, en esta investigación se han utilizado diversas herramientas entre las que se encuentra el diagrama bimanual [4]; al ser un vegetal que predomina en el comercio de la región se observó que los comerciantes realizan el proceso de desespinado de forma tradicional,

utilizando cuchillo y tabla de manera manual, empleando tiempo extra en dicho proceso, además de arriesgarse exponiéndose a accidentes como cortadas e incrustación de espinas en el cuerpo. En el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco se ha desarrollado un prototipo semiautomatizado capaz de desespinar y cortar el nopal, disminuyendo en riesgo del operador en comparación al proceso tradicional, la investigación está enfocada en el análisis del desespinado del nopal realizado de manera tradicional y posteriormente utilizando el prototipo mencionado. Teniendo como objetivo de investigación el análisis comparativo de ambos procesos revisando la solución óptima relacionada a los tiempos y movimientos, enfocada a la disminución de estos, para realizar una propuesta de mejora del proceso mencionado.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó dentro de las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, utilizando la primera versión de un prototipo de máquina desespina y cortadora de nopal.

Dado que el principal objetivo es determinar un método estándar y eficaz con la finalidad de reducir un 15% del tiempo en el proceso de desespinado, se utilizó un prototipo para realizar una investigación experimental considerando la utilización de este.

La metodología utilizada fue el Ciclo Deming (PHVA), generando un reporte inicial del estado actual del proceso; se implementó un análisis de tiempos y movimientos del proceso, con el objetivo de realizar una comparación de los dos procesos (tradicional o manual y semiautomatizado), para culminar con las fichas de operaciones de ambos procesos, diagrama hombre-máquina; concluyendo con una recomendación de mejora continua.

La representación de la metodología realizada a través del Ciclo Deming se muestra en la Figura 1.

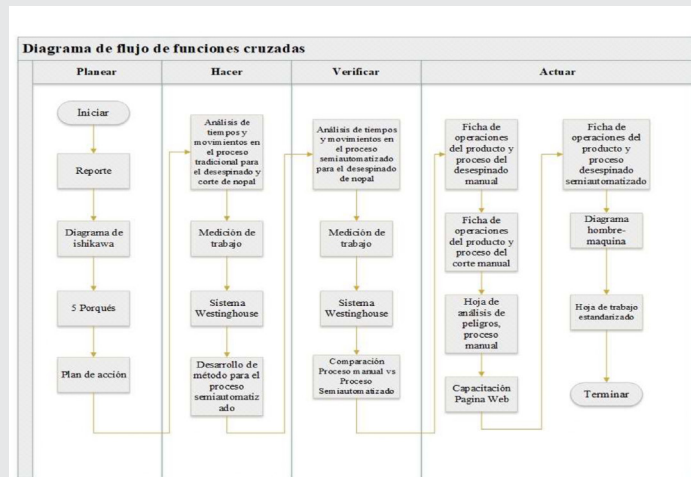


Figura 1. Diagrama del ciclo PHVA.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de Ishikawa donde se analizó la causa raíz para definir estrategias de acción durante la investigación.

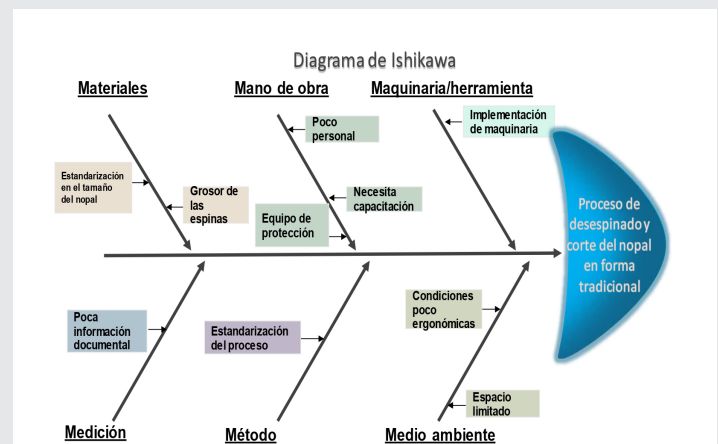


Figura 2. Diagrama de Ishikawa.
Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó la técnica de los 5 porqués, para determinar las causas del problema, dicha técnica se muestra en la Figura 3.

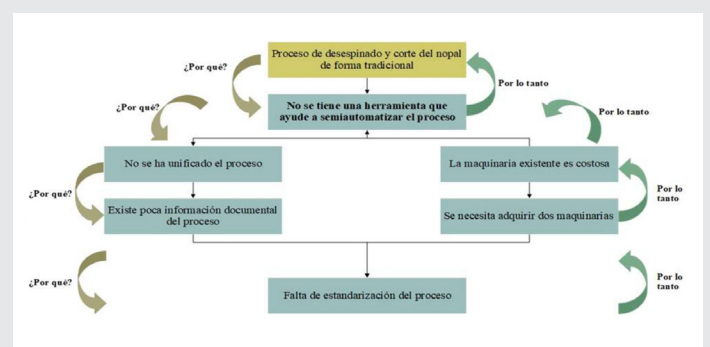


Figura 3. Técnica de los 5 porqués.
Fuente: Elaboración propia.

Proceso tradicional (manual)

Se realizó un análisis del desespinado del nopal de forma manual, el cual consiste en la remoción total de las espinas del nopal, contando con las siguientes actividades:

- cortar cladodio
- cortar la orilla del nopal
- remover las espinas de la cara delantera
- remover las espinas de la cara trasera

Al presentarse la falta de estandarización se aumenta la cantidad de desperdicios, mala calidad en los productos, sobre todo un bajo control en la realización de las actividades. Analizando los movimientos ejecutados por diferentes operadores se concluyó que tienen similitudes para realizar el proceso de desespinado. El registro de los datos de realizó a través de un diagrama bimanual mostrado en la Figura 4, observando las actividades que no agregan valor, pero son necesarias (NVAN), las que agregan valor añadido (VA) y las que no generan valor (NVA).

En la Figura 7 se muestran los tiempos empleados al cortar la orilla del nopal

| Diagrama Bimanual | | Resumen | |
|--|---------|---------|--|
| Diagrama Num: 1 Hoja Num: 1 de 1 | | | |
| Dibujo y Pieza: Proceso de desespinado de nopal Operación: Desespinado Lugar: Estación de desespinado | | | |
| Metodo: Actual / Propuesto | | | |
| Operado (s): | | | |
| Colaborador del proyecto: 1 | | | |
| Completado por: Fecha: oct-21 | | | |
| Karma Lara Baranda | | | |
| Descripción Mano Izquierda | Símbolo | Símbolo | Descripción Mano Derecha |
| Tomar el nopal (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Tomar cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de VA) | ▽ | ▽ | Sostiene el cuchillo (Actividad de VA) |
| Posiciona el nopal en la tabla (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Corta el cladodio del nopal (Actividad de VA) |
| Tomar el nopal (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Posiciona el nopal en forma vertical (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal en el aire (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo en las espigas de costado del nopal (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Corta la mano (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Posiciona el nopal en forma vertical (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo en las espigas de costado del nopal (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal en el aire (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Corta las espigas de costado del nopal hacia la mano (Actividad de VA) |
| Sostiene el nopal en la mano y posicón de manera horizontal (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal de manera horizontal (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | riba y abajo para cortar espigas frontal en repetidas ocasiones |
| Da vuelta al nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | riba y abajo para cortar espigas traseras en repetidas ocasiones |
| Da vuelta al nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | riba y abajo para cortar espigas frontal en repetidas ocasiones |
| Da vuelta al nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Sostiene el nopal (Actividad de VA) | ○ → | ○ → | riba y abajo para cortar espigas traseras en repetidas ocasiones |
| Traslada el nopal aun costado (Actividad de NVAN) | ○ → | ○ → | Sostiene el cuchillo (Actividad de NVAN) |
| Total | 17 | 3 | 0 |

Figura 4. Diagrama bimanual.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un estudio de tiempos del proceso tradicional mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Registro de tiempos de proceso tradicional.

| Actividad | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tomar nopal y cuchillo | Tiempo Ob | 1.06 | 1.68 | 1.44 | 0.75 | 3.59 | 3.06 | 2.56 | 1.5 | 2.22 | 2.1 | 3.75 | 1.81 |
| | Tiempo Cp | 0.78 | 1.55 | 0.91 | 0.5 | 0.63 | 2.66 | 1.06 | 0.82 | 1.85 | 1.15 | 1.41 | 1.97 |
| Cortar la orilla del nopal | Tiempo Ob | 13.85 | 9.03 | 13.74 | 10.15 | 11.62 | 9.56 | 8.5 | 6.78 | 6.44 | 6.03 | 6.9 | 8.75 |
| | Tiempo Cp | 16.1 | 14.53 | 20 | 21.25 | 18.66 | 14.43 | 18.63 | 19.62 | 19.63 | 18.3 | 17.19 | 17.12 |
| Deslizar el cuchillo remover las espigas de la cara frontal | Tiempo Ob | 20.59 | 19.53 | 25.19 | 21.88 | 19.53 | 13.85 | 19.82 | 22.12 | 14.81 | 18.16 | 11.75 | 15.97 |
| | Tiempo Cp | 4.35 | 6.65 | 17.44 | 13.72 | 22.43 | 13.53 | 6.4 | 16.5 | 9.87 | 13.12 | 9.81 | 14.34 |
| Almacenar a un costado del área de trabajo | Tiempo Ob | 1.3 | 0.81 | 0.97 | 1.43 | 1.91 | 1.94 | 1.5 | 1.59 | 1.19 | 1.5 | 1.87 | 1.78 |
| | Tiempo Cp | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que los gráficos de control mostrados en las siguientes Figuras:

En la Figura 5 se muestran los tiempos empleados en tomar el nopal y cuchillo.

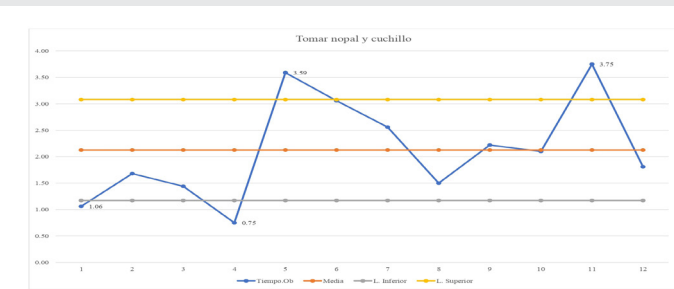


Figura 5. Gráfico de control (tomar nopal y cuchillo).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se muestran los tiempos empleados en el corte del cladodio.

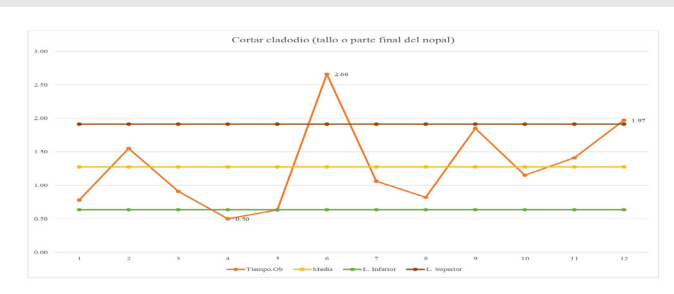


Figura 6. Gráfico de control (cortar cladodio)

Fuente: Elaboración propia

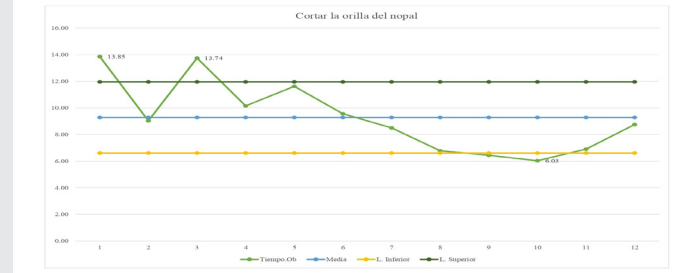


Figura 7. Gráfico de control (cortar la orilla del nopal).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8 se muestran los tiempos empleados en el corte de espigas de la cara frontal del nopal.

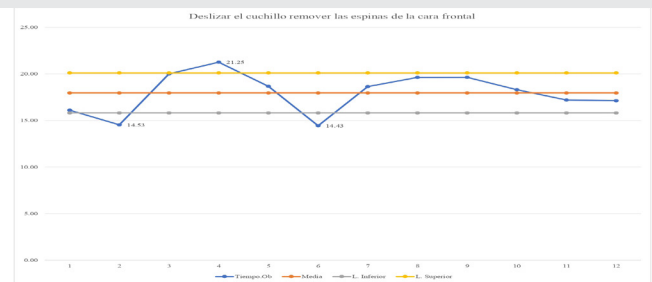


Figura 8. Gráfico de control (corte de espigas, cara frontal).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 se muestran los tiempos empleados en el corte de espigas de la cara trasera del nopal.

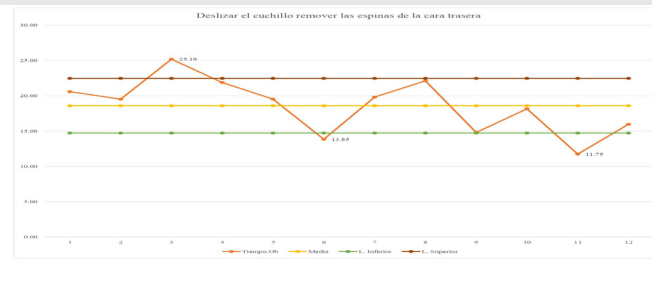


Figura 9. Gráfico de control (corte de espigas, cara trasera).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestran los tiempos empleados en la inspección del desespinado.

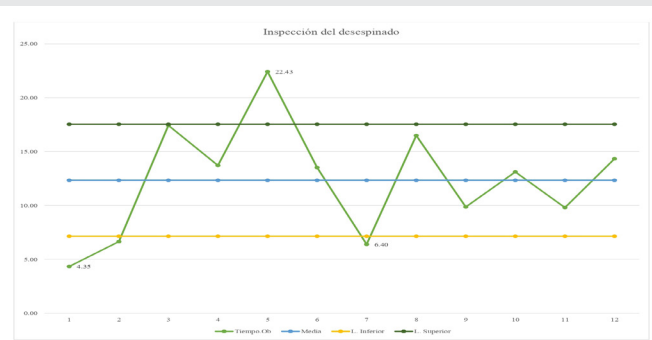


Figura 10. Gráfico de control (inspección del desespinado).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se muestran los tiempos empleados en el almacenamiento en el área de trabajo.

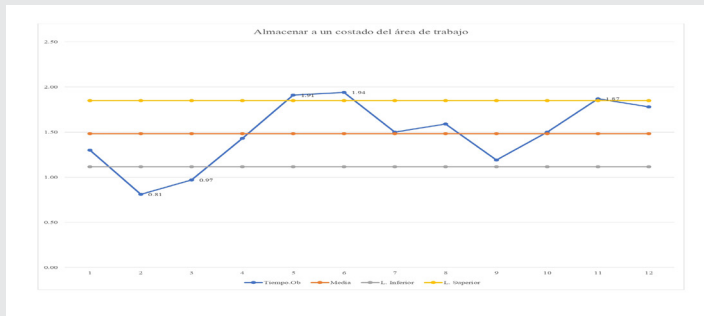


Figura 11. Gráfico de control (almacenamiento del área de trabajo).

Fuente: Elaboración propia.

Proceso semiautomatizado

Posteriormente se realizó el análisis del desespinado a través de la utilización del prototipo realizando las siguientes actividades:

- a) cortar cladodio
- b) cortar la orilla del nopal
- c) introducir el nopal en el prototipo por la abertura correspondiente e iniciar el desespinado de las caras delantera y trasera de manera simultanea a partir de los rodillos del prototipo, como lo muestra la Figura 12.



Figura 12. Prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

El estudio de tiempos del desespinado a través de la utilización del prototipo se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Registro de tiempos de proceso semiautomatizado.

| Actividad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | |
|---|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Tomar nopal y cuchillo | 2.38 | 0.75 | 3.59 | 1.93 | 1.73 | 1.41 | 2.03 | 1.93 | 1.11 | 2.03 | 2.14 | 3.75 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 | 2.03 |
| Cortar cladodio | 2.42 | 2.32 | 2.55 | 2.88 | 2.82 | 2.32 | 2.42 | 2.52 | 2.64 | 2.28 | 2.35 | 2.28 | 2.40 | 2.24 | 2.83 | 2.55 | 2.47 | 2.35 | 2.47 | 2.35 | 2.52 | 2.52 | 2.52 | 2.52 | 2.52 | 2.52 |
| Cortar espinas laterales | 13.74 | 9.03 | 11.83 | 9.56 | 11.62 | 7.24 | 8.82 | 11.77 | 7.44 | 8.75 | 7.17 | 8.75 | 10.15 | 12.62 | 8.3 | 6.78 | 11.66 | 6.65 | 6.45 | 6.4 | 6.73 | 9.77 | 10.73 | 12.66 | 8.72 | |
| Introducción del corte del Nopal y espina lateral | 3.42 | 2.3 | 1.48 | 2.11 | 1.59 | 1.32 | 1.5 | 1.18 | 1.19 | 1.78 | 1.89 | 1.78 | 1.32 | 1.27 | 1.59 | 1.34 | 1.31 | 1.36 | 1.45 | 1.45 | 1.19 | 1.49 | 1.1 | 1.28 | 1.5 | |
| Introducción nopal y desespinado de las caras | 0.42 | 0.48 | 0.51 | 0.28 | 0.34 | 0.62 | 0.34 | 0.55 | 0.55 | 0.42 | 0.47 | 0.47 | 0.41 | 0.51 | 0.37 | 0.45 | 0.5 | 0.53 | 0.53 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.41 | 0.38 | 0.55 | |
| Inspección del desespinado | 2.83 | 1.93 | 2.19 | 2.88 | 2.85 | 2.3 | 3.88 | 2.3 | 2.88 | 3.93 | 2.88 | 3.64 | 2.34 | 2.23 | 2.35 | 2.75 | 2.64 | 2.72 | 2.45 | 2.52 | 2.4 | 1.51 | 1.87 | 2.32 | 1.51 | |

Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos de control se muestran en las siguientes Figuras:

En la Figura 13 se muestran los tiempos empleados en tomar el nopal y cuchillo.

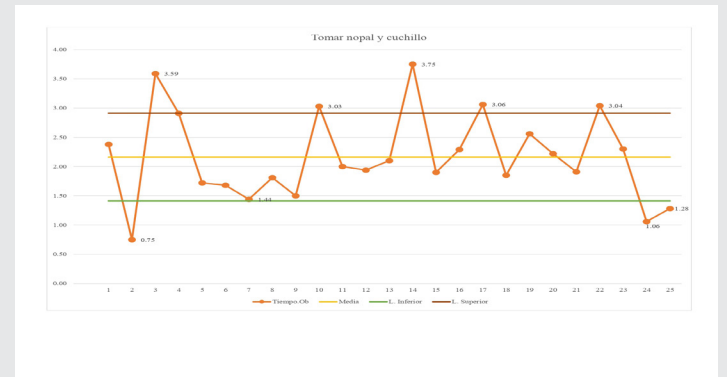


Figura 13. Gráfico de control (tomar nopal y cuchillo).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se muestran los tiempos empleados en cortar el cladodio.

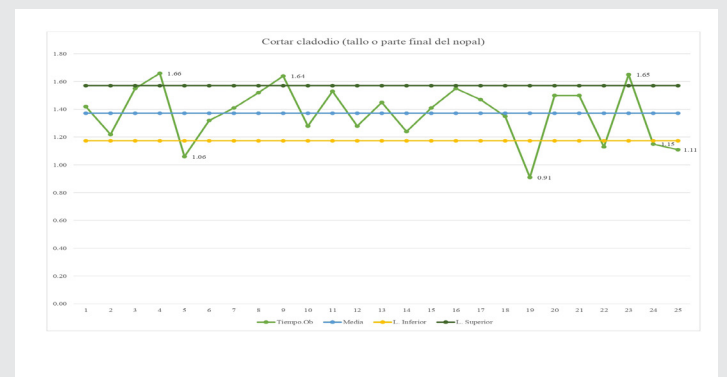


Figura 14. Gráfico de control (cortar cladodio).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 15 se muestran los tiempos empleados en cortar las espinas laterales.



Figura 15. Gráfico de control (cortar espinas laterales).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 16 se muestran los tiempos empleados en inspeccionar el tallo y las espinas laterales.

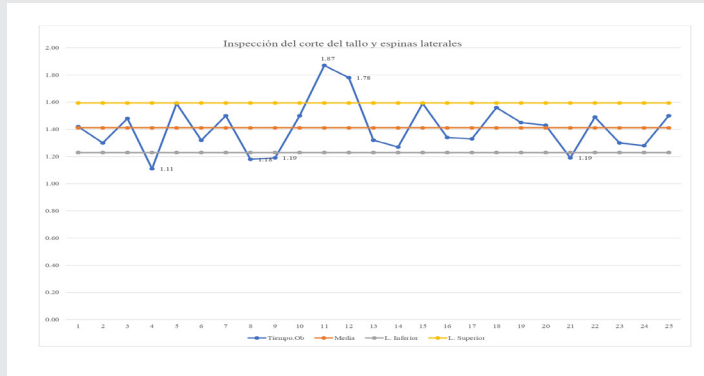


Figura 16. Gráfico de control (inspección de tallo y espinas laterales).
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestran los tiempos empleados en introducir el nopal al prototipo y el desespinado utilizando el prototipo.

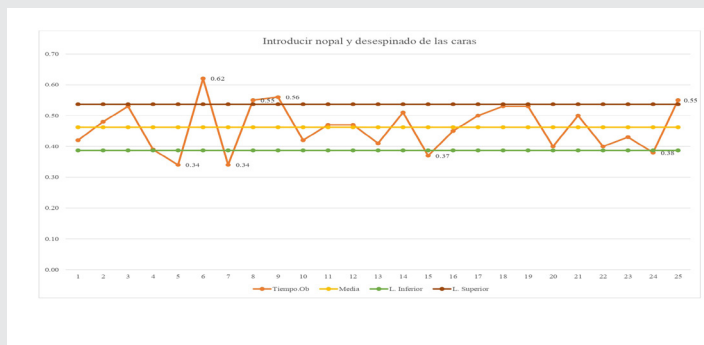


Figura 17. Gráfico de control (introducción y desespinado).
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se muestran los tiempos empleados en la inspección del desespinado.

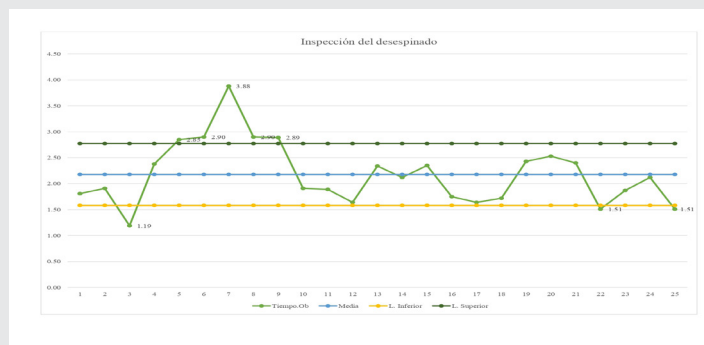


Figura 18. Gráfico de control (inspección del desespinado).
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis realizado en cada uno de los procesos se llegó al resultado comparativo de los tiempos utilizados, mostrado en la Figura 19.

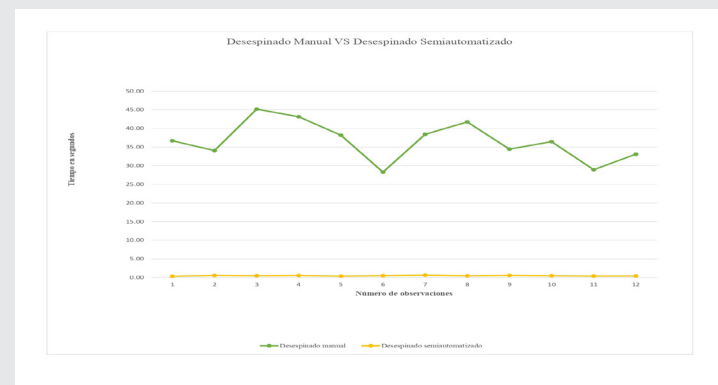


Figura 19. Comparación de resultados.
Fuente: Elaboración propia.

En ambos procesos se muestra una variabilidad de los tiempos al desarrollar la actividad, sin embargo, durante la ejecución del proceso semiautomatizado la tendencia es menor, por lo tanto, los tiempos son menos variables, impactando positivamente en la actividad de desespinado de nopal reduciendo un 72.99% el tiempo normal de trabajo.

Al realizar los análisis del proceso de forma manual y a través de la utilización del prototipo se llegó a los resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de resultados de tiempo.

| Proceso tradicional | |
|------------------------|--------|
| T. Normal (seg) | 65.24 |
| T. Estándar (seg) | 78.94 |
| Nopales por hora | 45.604 |
| | |
| Proceso Semiautomático | |
| T. Normal (seg) | 17.34 |
| T. Estándar (seg) | 21.32 |
| Nopales por hora | 168.86 |

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo un ahorro significativo en el desespinado a partir de utilizar el prototipo semiautomatizado.

Finalizando, se muestra la ficha de operaciones del proceso de desespinado de manera tradicional en la Figura 20.

Utilizando el prototipo de la institución se realizó la ficha de operaciones del proceso semiautomatizado como lo muestra la Figura 21.




| FICHA DE OPERACIONES DEL PRODUCTO Y PROCESO | |
|--|--|
| Proceso a Estudiar: DESESPINADO DE NOPAL Analista de tiempos Karina Joanna Lara Baranda Fecha del estudio: 15 de octubre de 2021 Operarios: Colaborador del proceso | |
| PRODUCTO TERMINADO  | DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO / PROCESO Remoción total de las espinas del nopal, procedimiento de limpieza del vegetal como alimento o materia prima. Éste debe efectuarse con las manos higienizadas. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO • Cuchillos afilados • Tabla de picar • Nopal |
| SECUENCIA DE OPERACIONES  | |
| DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES 1. Tomar nopal y cuchillo 2. Cortar clavado (tallo o parte final del nopal) 3. Cortar la orilla del nopal 4. Deslizar el cuchillo remover las espinas de la cara frontal 5. Deslizar el cuchillo remover las espinas de la cara trasera 6. Inspección del desespinado 7. Almacenar a un costado del área de trabajo | SEGURIDAD INDUSTRIAL En el proceso actual no se cuenta con equipo de seguridad |
| PRINCIPALES MAQUINAS - EQUIPOS - HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROCESO  Cuchillo Tabla de picar | |

Figura 20. Ficha de operaciones del proceso de desespinado tradicional.

Fuente: Elaboración propia.





| FICHA DE OPERACIONES DEL PRODUCTO Y PROCESO | |
|--|---|
| Proceso a Estudiar: DESESPINADO DE NOPAL IMPLEMENTANDO EL PROTOTIPO Analista de tiempos Karina Joanna Lara Baranda Fecha del estudio: 4 de mayo de 2022 Operarios: Colaborador del proceso | |
| PRODUCTO TERMINADO  | DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO / PROCESO Remoción total de las espinas del nopal, procedimiento de limpieza del vegetal. Éste debe efectuarse con las manos higienizadas. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROCESO • Cuchillos afilados • Tabla de picar • Prototipo NCM • Nopal |
| SECUENCIA DE OPERACIONES  | |
| DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES 1. Tomar nopal y cuchillo 2. Cortar clavado (tallo del nopal) de forma manual 3. Cortar la orilla del nopal de forma manual 4. Inspección del corte del tallo y espinas laterales 5. Introducir nopal y desespinado de las caras 6. Inspección del desespinado | SEGURIDAD INDUSTRIAL  |
| PRINCIPALES MAQUINAS - EQUIPOS - HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROCESO  Cuchillo Tabla de picar Prototipo NCM | |
| Observaciones: El proceso se encuentra estandarizado | |

Figura 21. Ficha de operaciones del proceso de desespinado semiautomatizado.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La investigación muestra el impacto de realizar un estudio de tiempos y movimientos en el proceso de desespinado de nopal, permitiendo conocer la duración del proceso, identificando las diversas operaciones existentes para poder disminuir o eliminar aquellas que no aportan valor al producto, además de contrastar el proceso tradicional y la propuesta de implementar un proceso semiautomatizado para crear un sistema estándar que ayude a disminuir las actividades que no agreguen valor al proceso, mejorando el sistema actual de este proceso de producción.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M.R. Dávila Lechuga, *Estrategias de valorización para los productores locales agroalimentarios a base de nopal, en la comunidad mazahua de San Lorenzo Toxico, Tesis, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Edo. de Méx., 2021.*

[2] M.A. Arronte García, L.V. Ponce Cabrera y T. Flores Reyes, *Informe Técnico sobre el estudio para el desespinado fotónico del nopal, Centro de Investigaciones en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Repositorio, 2005.*

[3] L.A. Mendoza Meza y C. Noriega Vergara, *Diseño y desarrollo de un prototipo de módulo desespinaador de nopales, Tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. de México, 2011.*

[4] B. Niebel y A. Freivalds, *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo, México, McGraw-Hill, 2009.*

[5] G. Kanawaty, *Introducción al Estudio del Trabajo, Ginebra, Oficina Internacional del Trabajo, 1996.*

[6] L. Krajewaki, L. Ritzman y M. Malhotra, *Administración de Operaciones, México, Pearson Education, 2008.*

[7] A. Camilo Janania, *Manual de tiempos y movimientos, ingeniería de métodos, México, Limusa, 2008.*

[8] R. García Criollo, *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo, México, McGraw-Hill, 2005.*



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Profesionalización operativa en MiPyMEs artesanales: un enfoque de factibilidad técnica



Colaboración

Areli Brenis Dzul; Miriam Luna Vega; Katherine Bravo Ariza; Mauricio Romero Montoya; María Guadalupe de la Cruz Altamirano, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: Este artículo presenta un análisis de factibilidad técnica destinado a una Micro, Pequeña y Mediana Empresa (MiPyME) especializada en la confección de prendas artesanales. La investigación se enfoca en determinar de acuerdo al tamaño de la empresa, la ubicación, los equipos necesarios, las instalaciones y los requisitos para la producción. La contribución fundamental de esta investigación reside en la profesionalización de las operaciones diarias dentro del proceso empresarial analizado, buscando mejorar la productividad y la eficiencia en la gestión de recursos. Además, el artículo presenta un caso de estudio que se propone como referencia para investigaciones en el desarrollo de MiPyMEs dedicadas a procesos similares.

PALABRAS CLAVE: SLP, Proceso, Manual, Estudio Técnico, MRP, Centro de Gravedad, Factibilidad.

ABSTRACT: This article presents a technical feasibility analysis for a Micro, Small and Medium Enterprise (MSME) specialized in the production of artisanal garments. The investigation focuses on determining, according to the size of the company, the location, the necessary equipment, facilities and requirements for production. The fundamental contribution of this research lies in the professionalization of daily operations within the business process analyzed, seeking to improve productivity and efficiency in resource management. Furthermore, the article presents a case study that is proposed as a reference for research in the development of MSMEs dedicated to similar processes.

KEYWORDS: SLP, Process, Manual, Technical Study, PMR, Center of Gravity, Feasibility.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo para llevar a cabo un estudio de factibilidad técnica de una empresa, es verificar la viabilidad de la fabricación o desarrollo, ya sea de un producto o servicio, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Análisis y determinación del tamaño, la localización, los equipos, las instalaciones y los óptimos requeridos para realizar la producción [1].

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el informe económico del 2019 al 2022, las microempresas constituyeron el 93.7% de las unidades económicas totales en el sector, 19.4% del empleo total y contribuyeron con 2.3% de la producción bruta total [2].

Durante el periodo del 2020 al 2022, la actividad económica experimentó una desaceleración debido a los impactos de la pandemia del virus SARS-CoV-2; no obstante, se observó un resurgimiento creativo y la aparición de nuevas propuestas en algunos sectores durante el confinamiento [3].

Las microempresas artesanales, según datos del INEGI en 2019, aportaron como sector 138,291 millones de pesos, constituyendo el 19.1% del sector cultural y el 35.1% de los puestos de trabajo ocupados y remunerados, equivalentes a 489,890 empleos [4]. Esta realidad muestra la necesidad de mejorar tecnológicamente a las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyME) para hacer frente a los desafíos de la "nueva normalidad" económica.

En línea con esto, los estudios de factibilidad en proyectos de inversión en empresas de alimentos han requerido del análisis técnico [5]. Este análisis determinó el tamaño óptimo de las instalaciones, la estructura orgánica para el uso eficiente de los recursos, así como la maquinaria y equipo necesarios. De manera similar, empresas de textiles [6] han realizado estudios de localización para expandir su capacidad instalada, seleccionando el mejor lugar mediante la comparación de criterios y la determinación de la ubicación óptima.

El desarrollo del estudio técnico aborda la factibilidad desde una perspectiva productiva, organizando las actividades de acuerdo con los insumos disponibles, como lo evidencia la investigación [7] que determinó la forma más sostenible de realizar actividades mineras en Perú, considerando aspectos económicos, de procesamiento y calidad.

El presente artículo presenta un estudio técnico para una microempresa artesanal dedicada al teñido de telas y confección de prendas en la región de Orizaba, Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza una investigación de tipo exploratoria basada en fuentes primarias y secundarias. La información primaria se recoge mediante entrevistas no estructuradas cara a cara y un cuestionario diagnóstico con técnicos y expertos de la empresa textilera en estudio.

La empresa en estudio se dedica a la fabricación de prendas textiles mediante procesos artesanales. La región de estudio comprende el municipio de Orizaba, Veracruz, México.

Para esta investigación, se utilizó la metodología de cinco etapas secuenciadas de [1], abarcando desde la identificación de los procesos hasta el análisis de la disponibilidad y costos de suministros e insumos. Estas etapas están enmarcadas bajo una actividad transversal que engloba la medición de indicadores y la documentación del proyecto Tabla 1.

Tabla 1. Fases de la metodología

| Fases | | Consideraciones |
|----------------|--|--|
| Fase 1. | Identificación y descripción del proceso | Recopilación de datos a través de visitas periódicas al taller. Observación directa y entrevistas no estructuradas con la propietaria y encargada del proceso. Resumen de actividades y tiempos, construcción de un diagrama de flujo. |
| Fase 2. | Análisis y Determinación de la Localización Óptima del Proyecto | Empleo del método del Centro de Gravedad para Macrolocalización. Método de Factores Ponderados para Microlocalización. Evaluación de ubicaciones potenciales dentro de un radio definido. |
| Fase 3. | Distribución de Planta. | Utilización de la metodología SLP (Systematic Layout Planning). Descripción y determinación de dimensiones de las instalaciones. Cálculo del área requerida por estación y diseño de distribución final. |

| Fases | | Consideraciones |
|----------------|---|--|
| Fase 4. | Capacidad de Diseño. | Análisis de la capacidad considerando horas de producción, días laborables, etc. Implementación de la metodología MRP (Material Requirements Planning). Construcción del BOM (Bill Of Materials) y Programa Maestro de Producción (PMP). |
| Fase 5. | Análisis de Disponibilidad y Costo de Suministros e Insumos. | Recopilación de costos de materiales, maquinaria y equipo para obtener un panorama financiero. Determinación de especificaciones y características requeridas. |

Fuente: Elaboración propia.

Esta información proporcionó una base sólida para identificar oportunidades de mejora.

RESULTADOS

Identificación y descripción del proceso

La información primaria se recolectó mediante visitas periódicas al taller, ubicado en el domicilio de la propietaria, y se identificaron las actividades mediante observación directa y entrevistas no estructuradas a los operadores. Con la información primaria se generó un resumen de actividades y tiempos en minutos y se construyó un diagrama de flujo de proceso que reveló un total de 419 minutos para la realización del proceso Figura 1.

| DIAGRAMA DE PROCESOS DE FLUJO | | | | RESUMEN | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|--------------------------|-------------------|-----------|------------|-------|
| | | | | SIMBOLO | ACTUAL | TIEMPOS | PROP. |
| Enfoque: Hombre | <input checked="" type="checkbox"/> | Material | <input type="checkbox"/> | ○ | 24 | 126 | -- |
| Método: Actual | <input checked="" type="checkbox"/> | Propuesto | <input type="checkbox"/> | □ | 6 | 43 | -- |
| Nombre del proceso: | Teñido ecológico de telas. | | | ⇒ | 4 | 10 | -- |
| Inicia en: | Recepción de materia prima. | | | ⊔ | 2 | 240 | -- |
| Termina en: | Guardar en Rack's. | | | ▽ | 0 | 0 | -- |
| Elaboró: | P. Santiago | Revisó: | K. Bravo | Fecha: 18/04/2023 | | | |
| TOTAL= | | | | | 36 | 419 | |

Figura 1. Resumen del diagrama del flujo del proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Con la información de la Figura 1, se obtuvo el tiempo normal a través de la aplicación del método Westinghouse [8] con el cual se evaluaron cuatro factores de la actuación del operario, se definió un índice de actuación de 1.08 Tabla 2.

Tabla 2 Calificación de la actuación: Método Westinghouse.

| FACTORES | CALIFICACIÓN | |
|--------------|--------------|------|
| DESTREZA | C1 | 0.06 |
| ESFUERZO | B1 | 0.01 |
| CONDICIONES | D | 0 |
| CONSISTENCIA | C | 0.01 |

0.08

ÍNDICE DE ACTUACIÓN= 1+CALIFICACIÓN

1.08

Fuente: Elaboración propia.

Con la ecuación 1 se definió el tiempo normal en 452.52 minutos por pieza.

$$T_{normal} = (Tiempo\ obs.) \cdot (\acute{I}ndice\ de\ act.) \quad Ec\ 1$$

Análisis y determinación de la localización óptima del Proyecto

La Macro y Microlocalización de la nueva instalación se definieron, así la Macrolocalización empleó el método del centro de gravedad [9] considerando tres proveedores de insumos, con la información y con la cantidad de rollos de flor que se demandan por semana se construyó la Tabla 3.

Tabla 3 Localización de abastecimientos de Materia prima.

| Materia Prima | Coordenadas | | Rollos por semana |
|---------------|-------------|-------|-------------------|
| | X | Y | |
| Proveedor 1. | 18.84 | 97.10 | 5 |
| Proveedor 2. | 18.81 | 97.06 | 7 |
| Proveedor 3. | 18.91 | 97.14 | 10 |

Fuente: Elaboración propia.

Las coordenadas para la nueva instalación se calcularon a través de las ecuaciones Ec 2 y Ec 3. Una vez que se aplicó el modelo del centro de gravedad la Macrolocalización quedó definida por las coordenadas X=18.8673, Y= -97.1125.

$$x^* = \frac{\sum i li \cdot xi}{\sum i li} \quad Ec\ 2.$$

$$y^* = \frac{\sum i li \cdot yi}{\sum i li} \quad Ec\ 3$$

Se identificaron tres posibles ubicaciones dentro de un radio de 1 kilómetro alrededor del punto óptimo determinado por el método de Centros de Gravedad, como se muestra en la Figura 2 mediante Google Maps [10].

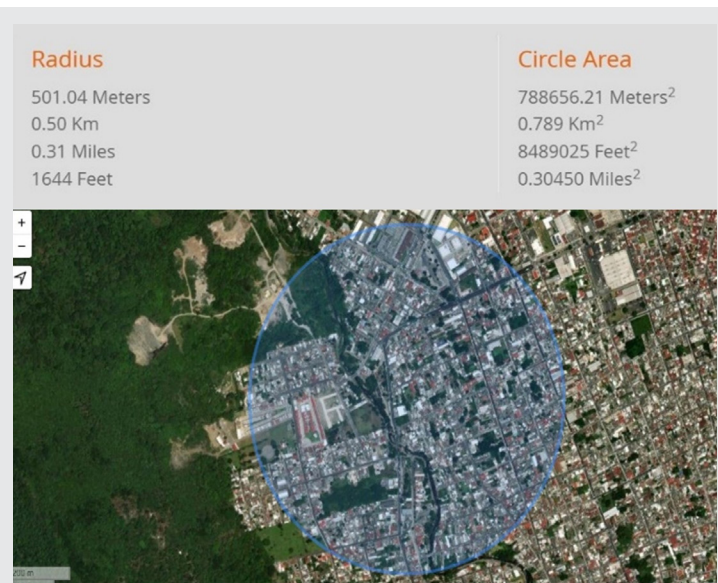


Figura 2. Vista satelital de la ubicación óptima.

Fuente: Recuperada de google maps.

La Microlocalización se obtuvo al aplicar el método de factores ponderados [11], Se identificaron los factores determinantes en el sistema de producción, asignándoles valores ponderados según su importancia, mediante el método Delphi. [12]. Luego, se compararon las ubicaciones, calificando cada factor en una escala del 0 al 4, donde: (0) muy malo (no cumple), (1) malo, (2) regular, (3) apropiado y (4) muy apropiado. La Tabla 4 muestra que cada alternativa se calcula como la suma de las puntuaciones para cada factor ponderas según

su importancia relativa, eligiendo la alternativa 3 con el puntaje más alto. Por razones de confidencialidad, la Microlocalización precisa del taller no se divulga.

Tabla 4. Método de factores ponderados.

| Factor | Peso (%) | Alternativas | | | Operaciones | | |
|---|------------|--------------|----|----|-------------|-------------|-------------|
| | | A1 | A2 | A3 | O1 | O2 | O3 |
| Mercado según producto | 13 | 2 | 4 | 4 | 0.26 | 0.52 | 0.52 |
| Mercado Según distribución | 7 | 3 | 2 | 4 | 0.21 | 0.14 | 0.28 |
| Materia prima | 15 | 3 | 4 | 4 | 0.45 | 0.60 | 0.60 |
| Agua | 19 | 3 | 3 | 3 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| Desarrollo del lugar y disponibilidad del terreno | 16 | 3 | 3 | 3 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| Comunicaciones | 5 | 3 | 4 | 3 | 0.15 | 0.20 | 0.15 |
| Restricciones | 4 | 2 | 2 | 4 | 0.08 | 0.08 | 0.16 |
| Medios de transporte | 9 | 3 | 2 | 4 | 0.27 | 0.18 | 0.36 |
| Mano de obra | 4 | 4 | 3 | 4 | 0.16 | 0.12 | 0.16 |
| Otros | 8 | 3 | 3 | 4 | 0.24 | 0.24 | 0.32 |
| Puntuación total | 100 | | | | 2.87 | 3.13 | 3.62 |

Fuente: Elaboración propia.

Distribución de planta

Con la localización del taller, la distribución de planta se construyó a partir de SLP (Systematic Layout Planning) [13]. Con el layout se determinaron las dimensiones del establecimiento (área en la parte baja de 66.51 m² y en el techo 44.34 m²); se calculó el área requerida por estación con un diagrama relacional Figura 3, para definir la distribución final Figura 4.

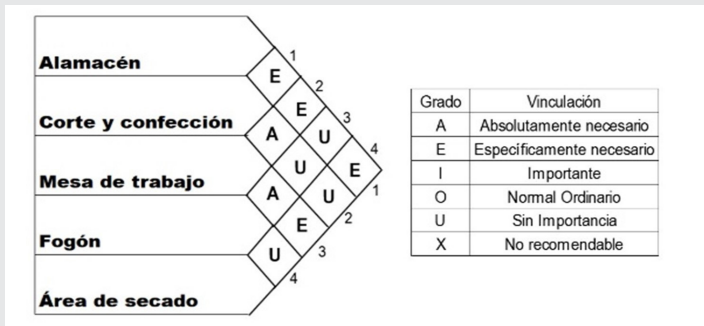


Figura 3. Diagrama relacional.

Fuente: Elaboración propia.

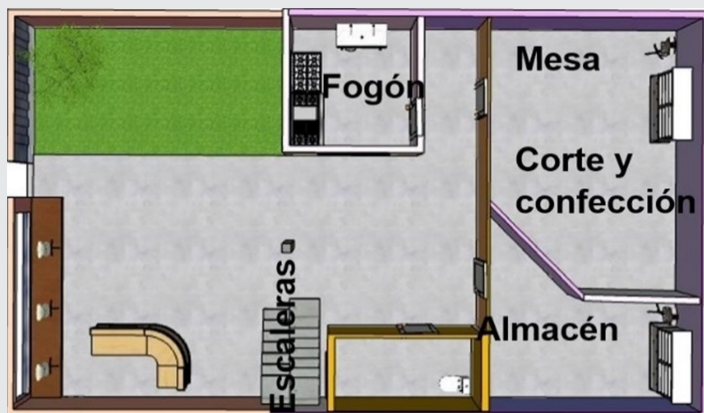


Figura 4. Vista superior de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Capacidad de diseño

Se realizó un análisis de la capacidad de diseño considerando 8 horas diarias de trabajo y 22 días al mes, a partir de ello, se calculó el tiempo disponible de producción de 176 horas productivas al mes y una unidad requiere 7.55 horas, por los que las medidas de capacidad se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5 Capacidad de diseño.

| Medidas de capacidad | Capacidad mensual |
|----------------------|-------------------|
| Capacidad de diseño | 23 unidades |
| Producción real | 8 unidades |

Fuente: Elaboración propia.

Se diseñaron requerimientos de materiales mediante MRP (Material Requirements Planning) [9], logrando planear y programar las tareas relacionadas con la producción. A partir de ello y de la construcción de los diagramas de nivel de producto Figura 5, se construyó el BOM (Bill Of Materials) [9] para el requerimiento de los materiales. Finalmente se obtuvo por cada material un PMP (Programa maestro de producción) de 12 semanas de acuerdo con los periodos de entrega y el establecimiento de una demanda estimada.

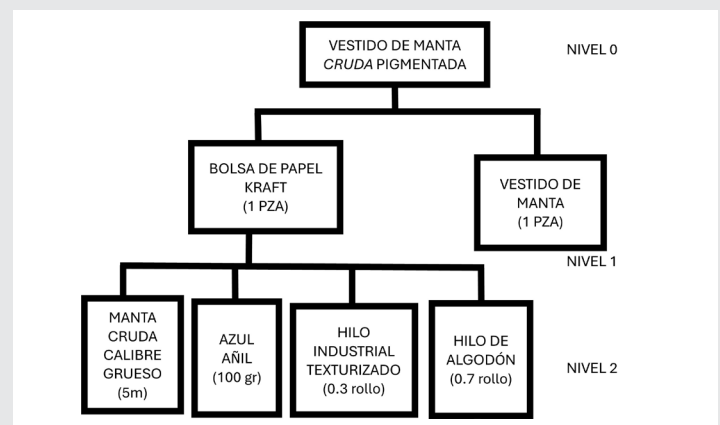


Figura 5. Lista de materiales para la confección de vestido artesanal.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de la disponibilidad y el costo de los suministros e insumos

Los costos de materiales, maquinaria y equipo del proceso permitieron a través de las especificaciones y características requeridas, el análisis de costos presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Costo de suministros e insumos

| Concepto | Costo total |
|------------------|-------------|
| Material (Anual) | \$47,202.00 |
| Maquinaria | \$46,492.00 |
| Equipo | \$17,551.00 |

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Los resultados de esta investigación permitieron el análisis del proceso de confección de prendas artesanales Figura 1 logrando obtener el tiempo normal.

Para la determinación de la Ubicación Óptima, se aplicó el método del Centro de Gravedad para identificar la ubicación estratégica Ec. 2 y Ec. 3 Se consideraron factores clave, como la accesibilidad a proveedores y la optimización de recursos logísticos Tabla 1. Así como se propuso una distribución de planta considerando el flujo del proceso Figura 4.

CONCLUSIONES

El estudio técnico realizado permitió obtener una visión más profunda sobre el proceso de confección de prendas artesanales. Algunos de los puntos más destacados que se lograron obtener fueron; la identificación de los procesos clave, la determinación de la localización, tamaño y distribución óptima, la determinación del costo de los equipos, maquinaria, suministros e insumos, culminando con la elaboración de un manual de procesos y procedimientos que permite garantizar la consistencia en la producción y mantener los estándares de calidad en la confección de prendas de teñido ecológico.

BIBLIOGRAFÍA

[1] G. B. Urbina, *Evaluación de Proyectos*, México: The Mc Graw Hill., 2016.

[2] INEGI, «Instituto Nacional de Estadística y Geografía,» INEGI, 17 marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825198657>. [Último acceso: 22 Julio 2023].

[3] P.-O. Gourinchas, 26 julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2022/07/26/blog-weo-update-july-2022>. [Último acceso: 26 Diciembre 2023].

[4] INEGI, «<https://www.inegi.org.mx>,» 17 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAPArtesano21.pdf>.

[5] E. Reyes, «Formulación y evaluación de un proyecto de inversión para procesar yogur griego,» *Journal CIM*, pp. 79-86, 2021.

[6] J. Joven, «Estudio de localización para una fábrica dedicada a la producción, distribución de textiles y confecciones. Estudio de caso: Grupo Carolina,» *Universidad de Ibagué, Ibagué*, 2018.

[7] D. Velilla y O. Respeto, «Oportunidades para la formulación de un modelo de negocio sostenible en torno a la minería aurífera informal a pequeña escala,» *Universidad Nacional de Colombia, Medellín*, 2021.

[8] B. W. N. y. A. Freivalds, *Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño de trabajo*, México D.F.: McGraw-Hill companies, inc., 2009.

[9] R. B. Heizer J. H., *Principles of operations management*, Reino Unido: Pearson/Prentice Hall, 2004.

[10] G. Maps, «Google Maps,» 22 junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.google.com.mx/maps/place/18%C2%B052'02.4%22N+97%C2%B006'45.1%22W/@18.8673272,-97.1151143,17z/data=!3m1!4m4!3m3!8m2!3d18.8673221!4d-97.1125394?entry=ttu>.

[11] R. L. Krajewski. L. J., *Administración de operaciones: estrategia y análisis*, México: Pearson Educación, 2000.

[12] J. Llorens Fabregas, *Gerencia de proyectos de tecnología e información*, Venezuela: CEC, Los Libros de El Nacional, 2005.

[13] R. Muther y L. Hales, *Systematic Layout Planing*, Marietta: Management & Industrial Research Publications, 2015.





Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Implementación de Manufactura Celular y Herramientas Lean para incrementar la productividad en fábrica de muebles



Colaboración

Elda Segovia Avila; Brandon Joseph Alvarado Contreras; Axel Enrique Guerra Escobar, Tecnológico Nacional de México / ITS de San Pedro de las Colonias

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: El presente documento detalla los hallazgos al momento de realizar un estudio enfocado a la investigación aplicada, en una fábrica de muebles, la cual presenta el problema de baja productividad, lo que genera que no cumpla con la meta establecida diariamente. La propuesta es implementar la manufactura celular, partiendo de la hipótesis de que “El tiempo de fabricación se reduce y se maximizan las habilidades del personal implementando la manufactura celular. La metodología utilizada se basó en Lean Manufacturing, identificando las mudas (desperdicios) y su causa raíz, obtenido como resultado una reducción en el recorrido del material y una disminución de tiempo de proceso de tapizado de salas. Incrementado de un 44.44% a un 74.04% de eficiencia, que representa un aumento en los ingresos anuales de \$12,991,200.00

PALABRAS CLAVE: Manufactura celular, Lean Manufacturing, mudas, nivelación de la producción, herramientas de mejora.

ABSTRACT: This document details the findings at the time conducting a study focused on applied research, in a furniture factory, which presents the problem of low productivity, which means that it does not meet the established goal daily. The proposal is to implement cellular manufacturing, based on the hypothesis that “Manufacturing time is reduced, and staff skills are maximized by implementing cellular manufacturing. The methodology used was based on Lean Manufacturing, identifying the “mudas” (waste) and their root cause, getting in a reduction in the route of the material and a decrease to process time of Sofa upholster. Increased from 44.44% to 74.04% efficiency, which represents an increase in annual revenue of \$12,991,200.00.

KEYWORDS: Cellular manufacturing, Lean Manufacturing, mudas, production leveling, improvement tools.

INTRODUCCIÓN

El estudio de lleva a cabo en una fábrica de muebles de la Región Lagunera, la cual presenta un problema de baja productividad evidenciada por no cumplir con las metas de producción establecidas semanalmente, por lo que requiere una investigación que permita encontrar una estrategia de mejora.

La hipótesis es, que “El tiempo de fabricación se reduce y se maximizan las habilidades del personal con la implementación de la manufactura celular” [1].

La manufactura celular es una herramienta de lean manufacturing que centra sus esfuerzos en mejorar el tiempo de entrega de los productos procesados, así como en incrementar la capacidad de producción [1].

La manufactura celular es útil para eliminar los desperdicios o desperdicios (mudas), que según Rajadell y Sánchez (2010) definen al desperdicio como Desperdicio como “actividades que consumen tiempo, recursos y espacio, pero no contribuyen a satisfacer las necesidades del cliente (no aportan valor al cliente)” [2].

Para Villaseñor (2010) Lean manufacturing es una filosofía de producción, desde la materia prima hasta producto terminado, para satisfacer al cliente final, es una forma diferente de pensar, enfocada eliminar los desperdicios a través de actividades de mejora [3].

El objetivo del estudio es implementar la manufactura celular en el proceso de ensamble para incrementar la productividad, reduciendo el tiempo de fabricación y maximizando las habilidades del personal.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología utilizada está basada en las herramientas de Lean Manufacturing y técnicas de Ingeniería industrial para análisis y resultados. El tipo de investigación es aplicada con correlación de datos mediante la técnica de la observación para el registro de acontecimientos. Los materiales utilizados, fueron, cronometro, formatos para registro de datos como hoja para diagrama de flujo de proceso, bitácora y AutoCad para el diseño.

Para Milan Kubr todo cambio o mejora en un proceso es parte de una consultoría, la cual tiene diferentes etapas y en la etapa del diagnóstico, propone que se realice la identificación del problema mediante 5 dimensiones que son: Sustancia e identidad, Ubicación física, Tenencia del problema, Magnitud absoluta y relativa y Perspectiva Histórica [4]. También hace hincapié en la importancia de realizar un plan de recolección de datos que facilite llevar a cabo el estudio.

La metodología utilizada para el desarrollo e implementación de la manufactura celular se adaptó iniciando con la premisa de Millian Kubr y las cinco dimensiones de los problemas [4], combinada con las propuestas de Socconini [1] y por otro lado por Rajadell y Sánchez [2] la cual se describe en la Figura 1.

Para iniciar el estudio se realiza un acercamiento a la empresa presentando el equipo de investigación y se procede siguiendo la metodología descrita anteriormente:

1) Identificar el problema mediante las 5 dimensiones

Estas son los enfoques desde donde se debe iniciar un diagnóstico, según Kubr (1997) [4].

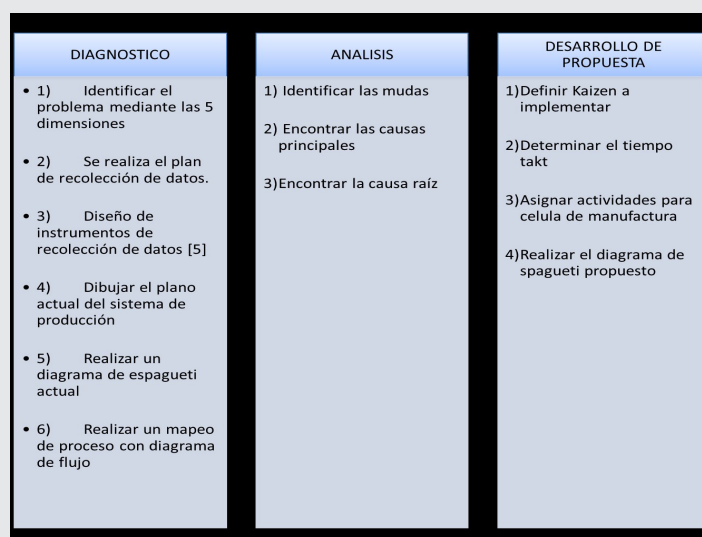


Figura 1. Metodología utilizada para el estudio.

Fuente: Elaboración propia.

A. Sustancia o identidad

Se refiere a la situación específica a analizar, las variables y unidades de medición. La empresa hace referencia a un problema con el número de productos, por lo que la variable a estudiar es la productividad, medida en número de piezas producidas en relación a las piezas esperadas.

B. Ubicación física y en la organización

En este apartado se describe el lugar específico donde se recolectarán los datos, esto para delimitar el estudio. En este caso el área involucrada es el ensamble salas en la fábrica de muebles.

C. Tenencia del problema

Aquí se describe a quienes son los involucrados o a las personas que afecta el problema en estudio. Por lo que al investigar mediante la observación y entrevistas se tiene la siguiente información.

La problemática existente que es la baja productividad afecta a:

Operadores: poca remuneración económica a causa de la baja productividad.

Supervisores: llamadas de atención por no cumplir las metas de producción.

Ingenieros: sus estrategias planteadas no se realizan correctamente.

Directivos: no alcanzar las ventas deseadas.

D. Magnitud absoluta y relativa

En este punto se establece la dimensión, tamaño o volumen del problema en estudio, en relación a la variable medible. Por lo que al registrar en la bitácora la información relacionada al estado actual de la variable en estudio, se obtiene que la producción actual es de 60 salas por semana, de 135 esperadas. Entonces la eficiencia actual se obtiene de acuerdo a la ecuación 1.

$$eficiencia = \frac{Producción\ Real}{Producción\ esperada} \cdot 100 \quad Ec. (1)$$

Obteniendo un 44% de eficiencia con el proceso actual.

2) Se realiza el plan de recolección de datos

Es necesario establecer la forma y el tiempo que se va a dedicar para la recolección de los datos, con la finalidad de realizar un estudio en base a resultados. El plan queda de la siguiente manera:

A. Contenido de los datos

Categorías:

1. Piezas de salas producidas.
2. Tiempo de elaboración de las piezas.

Unidades de medida a trabajar:

1. Número de piezas producidas.
2. Minutos (tiempo).

B. Grado de detalle

Se van a investigar las piezas producidas y el tiempo que se tarda en cada una de las operaciones de trabajo de las salas.

C. Periodo

Semanal en el mes de abril del 2022.

D. Aspectos abarcados

Investigar las piezas producidas por día, semana, mes etc.

El tiempo que se tarda en cada operación cada pieza producida.

Registrar las posibles causas o factores que se puedan observar y que se relacionan con el origen del problema planteado en la encomienda.

E. Organización y tabulación de datos

Los acontecimientos registrados, relacionados con el número de piezas producidas y tiempo de elaboración de estos productos, se registra y se gráfica por semana para una mejor apreciación de la situación.

3) Diseño de instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos se diseñan de acuerdo a las necesidades de cada problema [5] por lo que para este estudio se diseña un formato de registro de acontecimientos, tipo bitácora, un formato de recolección de datos para el diagrama de flujo, se determina el uso del software AutoCAD para el diseño de Distribuciones (Layout) y diagramas de espagueti, así como uso del software Design Tools para realizar el diagrama de flujo de proceso.

4) Dibujar el plano actual del sistema de producción

De acuerdo a Socconini (2019) [6], al iniciar un estudio se debe de tener visualizado la distribución actual para poder contextualizar y tener un punto de partida. El Layout del

proceso de producción al momento de hacer el estudio se muestra en la Figura 2.

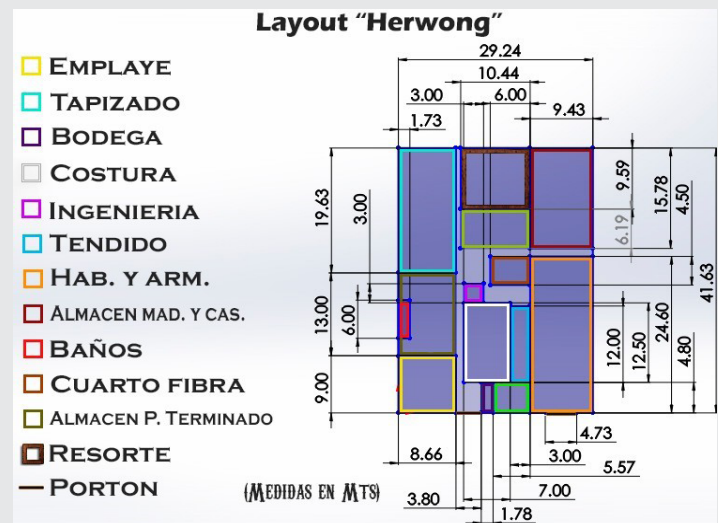


Figura 2. Layout de la empresa.

Fuente: Elaboración propia con AutoCad.

Una vez que se tiene identificado el espacio y la distribución del proceso, se procede establecer el recorrido que hace el material para el proceso mediante un diagrama de espagueti.

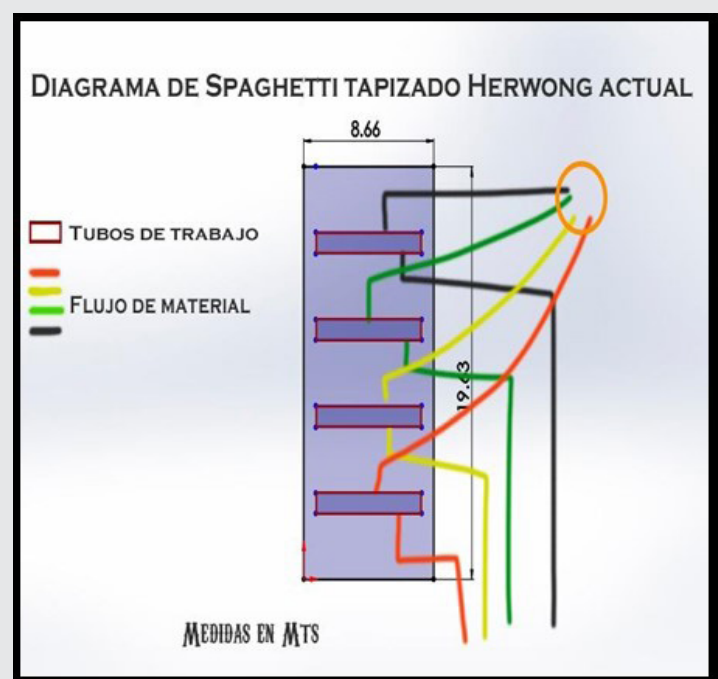


Figura 3. Diagrama de espagueti actual.

Fuente: Elaboración propia con AutoCad.

5) Realizar un diagrama de espagueti actual

Esta técnica es de gran utilidad porque proporciona información del flujo del material a través de los distintos departamentos, ayudando a identificar áreas de oportunidad de distribución. El diagrama de espagueti del proceso actual al momento del estudio se presenta en la Figura 3.

6) Realizar un mapeo de proceso con diagrama de flujo

Después de obtener la información gráfica del recorrido que hace el material, lo que prosigue según Cuatrecasas (2010) [7], es identificar las demoras (mudas) que este proceso contiene, por lo que para obtener esta información se realiza un diagrama de flujo como se muestra en la Figura 4 y 5, haciendo uso del software Design Tools, diseñado por Niebel [8].

| Process Description | Chart Symbol | Dist. in Feet | Time (min) |
|--|----------------|---------------|------------|
| Almacén de madera | Storage | 0 | 0 |
| Transporte de madera de almacén de madera al área de h | Transportation | 32.80E | .58 |
| Cortar madera a una longitud establecida | Operation | 0 | 5 |
| Empaquetado de juego de salas | Operation | 0 | 1.45 |
| Inspección de juego de salas | Inspection | 0 | 0 |
| Almacén juegos de salas | Storage | 0 | 0 |
| Traslado series de salas al área de armado | Transportation | 32.80E | .58 |
| Armado de casco o esqueleto con grapadora | Operation | 0 | 36 |
| Inspección de esqueleto o casco | Inspection | 0 | 0 |
| Almacén de casco o esqueleto | Storage | 0 | 0 |
| Transporte almacén de casco o esqueleto al área de resor | Transportation | 82.021 | 1 |
| Grapado de fichas con grapadora | Operation | 0 | .76 |
| Corte de resorte con pinzas | Operation | 0 | 2.08 |
| Colocación de resortes encima de fichas | Operation | 0 | 1.15 |
| Amartillar fichas con el martillo | Operation | 0 | 1.05 |

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de ensamble de salas. Fuente: Elaboración propia con Design Tools.

| Process Description | Chart Symbol | Dist. in Feet | Time (min) |
|-------------------------------------|----------------|---------------|------------|
| Grapado de resortes | Operation | 0 | .58 |
| Colocar raña | Operation | 0 | 2.63 |
| Colocar Bonfor | Operation | 0 | 3.5 |
| Inspección de operación resorte | Inspection | 0 | 0 |
| Almacén ensamble operación resorte | Storage | 0 | 0 |
| Ensamble de resorte | Operation | 0 | 11.71 |
| Almacén de espuma y aglutinado | Storage | 0 | 0 |
| Transporte de espuma y aglutinado | Transportation | 9.842E | .25 |
| Unión espuma y aglutinado | Operation | 0 | .63 |
| Forrado de todo el casco con guata | Operation | 0 | 2.11 |
| Tapizado del respaldo | Operation | 0 | 8.66 |
| Tapizado de asientos | Operation | 0 | 11.83 |
| Tapizado de cierre | Operation | 0 | 3.16 |
| Inspección de calidad | Inspection | 0 | 0 |
| Traslado de sala al área de emplaye | Transportation | 39.37C | .71 |

Figura 5. Continuación de Diagrama de flujo del proceso de ensamble de salas. Fuente: Elaboración propia con Design Tools.

7) Hacer un análisis de mudas y tipos de despilfarro

Con el diagrama de flujo es fácil identificar mudas que representan un tipo de desperdicio o despilfarro de recursos en el proceso [9]. En este caso se identifica que el material recorre un total de 239.5 ft. y que el tiempo de ciclo del contenido total del trabajo 135.32 minutos. Como se muestra en la Figura 6.

| Flow Process Chart (Summary) | | Summary | | | |
|------------------------------|-------------------------|---------------|-----------|----------|---------|
| Location: | HERWONG | Event | Present | Proposed | Savings |
| Activity: | PRODUCCIÓN | Operation | 26 | | |
| Date: | 02-05-2022 | Transport | 10 | | |
| Operator: | | Delay | | | |
| Analyst: | ING. AXEL GUERRA | Inspection | 7 | | |
| | | Storage | 9 | | |
| Method: | Present Proposed | Distance (ft) | 239.50132 | | |
| Type: | Worker Material Machine | Time (min) | 135.32 | | |
| | | Cost | | | |

Figura 6. Resumen de diagrama de flujo.

Fuente: Elaboración propia con Design Tools.

También se identifica que en el proceso de tapizado de salas hay una muda que corresponde a un tiempo excesivo de la operación, identificando un tiempo de 45 minutos. Por lo que se procede a buscar las causas.

8) Análisis de causas

Se procede a identificar los factores que están generando la baja productividad en el proceso de tapizado, mediante una lluvia de ideas, se obtienen los datos mostrados en la Tabla 1 mediante una clasificación por las categorías más evidentes en el proceso.

Tabla 1. Causas de tiempos muertos (mudas).

| BAJA PRODUCTIVIDAD | CON RELACIÓN A LOS TIEMPOS | ESPACIOS |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Todo el proceso es realizado por una misma persona. ○ No se cuenta con materialista. ○ <u>Herramientas prestadas y falta de herramientas.</u> | <ul style="list-style-type: none"> ○ Pérdidas de tiempo por trayectos largos de transporte de material. ○ No se ha hecho ningún estudio previo de tiempos. ○ Se ha trabajado con un método de trabajo sin nada establecido. | <ul style="list-style-type: none"> ○ Falta de almacén para colocar piezas terminadas ○ Material acumulado. ○ Falta de espacios de áreas de trabajo. |

Fuente: Elaboración propia.

Al estudiar las causas se encuentra que, en todas las ocasiones, es decir comuna frecuencia del 100% los trabajadores tienen que esperar por falta de herramienta. Por lo que, de las causas, se considera de mayor impacto para su análisis. Por lo que se procede a realizar un Diagrama de Ishikawa, pues de acuerdo con López (2016) [9], esta es una de las herramientas utilizada para las mejoras en los procesos. El diagrama se muestra en la figura 7.

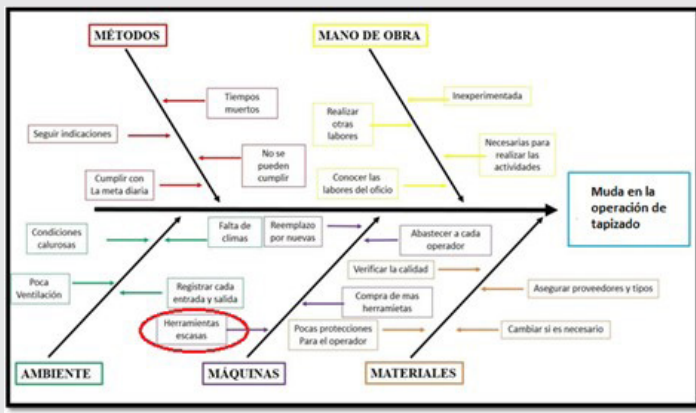


Figura 7. Diagrama de Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el diagrama comprobamos que la causa principal es la falta de herramienta.

9) Definir Kaizen a implementar

Es necesario eliminar las causas detectadas por lo que se procede a realizar un análisis de las propuestas de acuerdo al peso y calificación asignada por los directivos. Como se muestran en la Tabla 2. De acuerdo con las cuatro estrategias propuestas:

- A. Hacer estación de subensamble mediante manufactura celular para disminuir el recorrido del material.
- B. Espacios disponibles y aplicación de un Layout.
- C. Colocar herramienta necesaria en cada estación para evitar retrasos.
- D. Poner un materialista en el área, ayudar a subir la productividad y evitar tiempos muertos.

Tabla 2. Evaluación de estrategias.

| Estrategia | Peso | Calificación | Ponderación |
|------------|------|--------------|-------------|
| A | 40 | 8 | 320 |
| B | 20 | 5 | 100 |
| C | 30 | 8 | 240 |
| D | 10 | 6 | 60 |

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de las estrategias evidencia que la primera a atenderse es la A que se refiere al diseño de la célula de manufactura, seguida por la C que es el abastecimiento de herramientas.

10) Determinar el tiempo takt

El takt time se refiere al ritmo de trabajo para poder cumplir con la meta diaria de 270 piezas diarias. Conociendo el tiempo disponible para trabajar por día que es de 540 minutos, entonces se procede a calcular el takt time de acuerdo con la ecuación 2.

$$Takt\ time = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{producción esperada}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$Takt\ time = \frac{2700\ min}{135\ piezas} = 20\ minutos/sala$$

11) Determinar el número de operadores

La asignación de actividades para los operadores debe ser basada en el takt time calculado, de tal manera que se pueden asignar actividades tantas como sea posible, siempre y cuando no sobre pase de tiempo de ritmo de trabajo [10], como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Asignación de actividades.

| Estación | Tarea | ΣPW | Precedencia | Tiempo de la operación | Tiempo acumulado (min) | Tiempo no asignado (min) |
|----------|-------|-----|-------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| I | 1 | 55 | | 5 | 5 | 22 |
| | 2 | 50 | 1 | 15 | 20 | 7 |
| II | 3 | 35 | 2 | 15 | 15 | 12 |
| III | 4 | 20 | 3 | 20 | 20 | 7 |

Fuente: Elaboración propia.

Estas son las estaciones de trabajo necesarias para la célula de trabajo.

Lean manufacturing propone la técnica de nivelación, la cual consiste en la asignación de actividades y su representación gráfica, para visualizar el tiempo utilizado en cada operación con relación al ritmo de trabajo [11] como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Nivelación de actividades.

Fuente: Elaboración propia.

12) Realizar el diagrama de espagueti propuesto

Con los datos anteriores se procede a realizar el diagrama de espagueti propuesto como se muestra en la Figura 9.

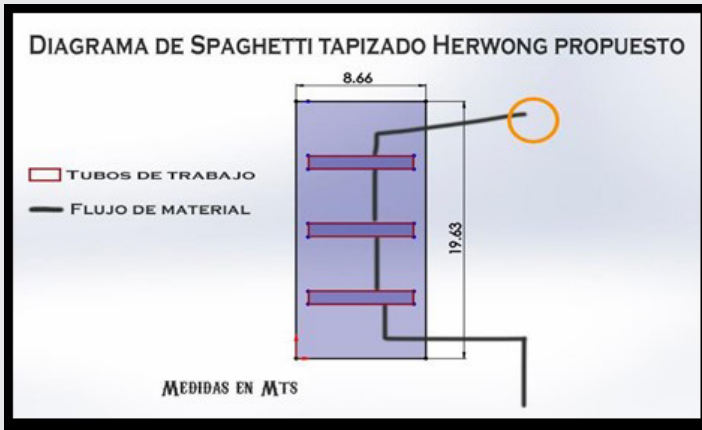


Figura 9. Diagrama de espagueti propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Al implementar la manufactura celular se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Reducción de distancia del recorrido del material, de 239.5 ft a 32.80 ft, lo que corresponde a decir que, de 74 m, se reduce a 10 m.
2. Reducción del tiempo de proceso al bastecer de herramientas, pues es tiempo de operación se logra balancear a 20 minutos por pieza, obteniendo ahorro significativo en el tiempo, logrando producir al ritmo de trabajo establecido (takt time), como se muestra en la Figura 10.

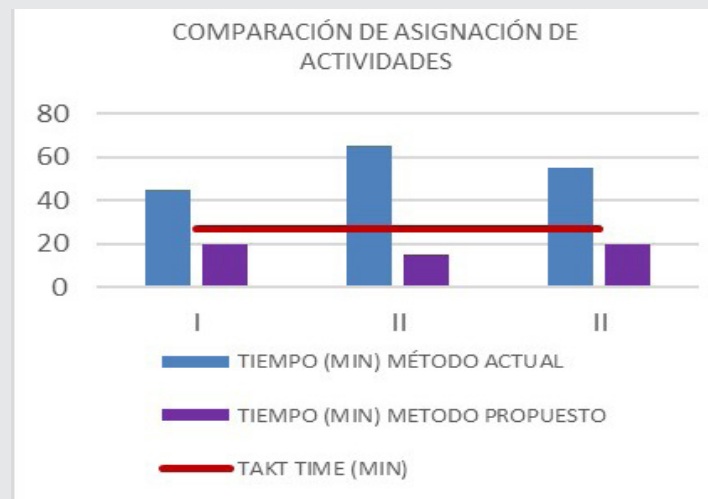


Figura 10. Comparación de asignación de actividades.

Fuente: Elaboración propia.

3. Incremento de la productividad subiendo la eficiencia de 44% a 74% como se muestra en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4. Cálculo de la eficiencia antes

| | | |
|---------------------------|--------------|------|
| Td= | 540 | min. |
| Takt time= | 20 | min. |
| | | |
| Piezas esperadas= | 27 | pzs. |
| Piezas reales= | 12 | pzs. |
| | | |
| Eficiencia actual= | 44.44 | % |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Cálculo de la eficiencia método trabajo.

| | | |
|-----------------------------|--------------|------|
| Td= | 540 | min. |
| Takt time= | 20 | min. |
| | | |
| Producción real= | 20 | pzs. |
| Producción esperada= | 27 | pzs. |
| | | |
| Eficiencia esperada= | 74.07 | % |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar se obtuvo un incremento del 29.63% en la productividad de la línea de tapizado de salas.

4. Se aumento el ingreso generado por el incremento de producción, de acuerdo con el costo beneficio presentado en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Ingresos método actual

| Producción de salas por día | Precio por unidad | Ingresos por día |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| 12 | \$ 6,500.00 | \$ 78,000.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Ingresos método propuesto.

| Producción de salas por día | Precio por unidad | Ingresos por día |
|-----------------------------|-------------------|------------------|
| 20 | \$ 6,500.00 | \$ 130,000.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar hubo un incremento de ingresos por consecuencia del incremento de la productividad los cuales se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Aumento en ingresos con método propuesto.

| | |
|--|----------------------|
| Ingresos por día antes de la mejora | \$ 78,000.00 |
| Ingresos por día después de la mejora | \$ 130,000.00 |
| Aumento en Ingresos por producción por día= | \$ 52,000.00 |

Fuente: Elaboración propia.

El aumento en ingreso por día es de \$52,000, por cinco días a la semana por 50 semanas al año equivale a \$13,000,000.00, considerando la inversión en herramientas con depreciación en un año se tiene el incremento en inversión real como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Aumento en ingresos por año.

| | |
|--|------------------------|
| Aumento en Ingresos por año | \$13,000,000.00 |
| Inversión de la herramienta por año | \$ 8,800.00 |
| Aumento en Ingresos por año= | \$ 12,991,200 |

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En conclusión, confirma la hipótesis que enuncia que “El tiempo de fabricación se reduce y se maximizan las habilidades del personal con la implementación de la manufactura celular”, pues en el proceso de tapizado de ensamble de ha comprobado, mediante un análisis realizado con herramientas de mejora para determinar la mejor estrategia, que en este caso fue la implementación de la manufactura celular y el abastecimiento de herramientas. Por lo que es importante destacar que las herramientas de ingeniería Industrial son de gran utilidad utilizándolas de acuerdo con las necesidades de cada situación

en particular, pues facilitan el proceso de estudio. Se concluye pues destacando el logro que se obtuvo con reimplantación de la manufactura celular, la cual corresponde a un incremento en los ingresos de \$1'082,600.00 pesos mensuales.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Socconini, L. V. (2019). *Lean Manufacturing: paso a paso*, Marge Books. ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/eccisp/detail.action?docID=5885237>

[2] Rajadell, M. Y Sánchez, J. L (2010). *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Diaz de Santos.

[3] Villaseñor, C. A. (2007) *Manual de Lean Manufacturing guía básica*. México: Editorial Limusa.

[4] Milan, K. (1997). Rajadell, M. & Sánchez, J. L (2010). *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. Madrid, España: Diaz de Santos.

[5] Hernández, R., Fernández, C. & Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). México: McGraw HILL.

[6] Meyers E. & Matthew P. (2006). *Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de materiales* (3 ed.). México: PEARSON.

[7] Cuatrecasas L. (2010). *Lean Management, La gestión competitiva por excelencia*. Barcelona: Profit.

[8] Niebel, B. & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería Industrial, Métodos y diseño del trabajo* (12 ed.). México: McGraw-Hill.

[9] López Lemos, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad: métodos para la mejora continua y la solución de problemas*. FC Editorial. <https://elibro.net/es/lc/tecsanpedro/titulos/114213>

[10] Hernández J. C. & Vizán A. (2013). *Lean Manufacturing, Conceptos, técnicas e implantación* Barcelona: Profit.

[11] García, M. C. (2016). *Aplicación LEAN MANUFACTURING a una célula autónoma de fabricación de piezas de CN*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

[12] Contreras, M. M. (2011). *Estudio Sobre la Tecnología de Grupos y su Integración en la Manufactura Integrada por Computadora*: Instituto Politécnico Nacional.

[13] López, A. P. R. (2007). *La gestión de costes en Lean Manufacturing. Como evaluar los costes en un sistema lean*. BUSINESS POKET. Obtenido el 21 de octubre de 2022.





Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Estudio sobre el efecto individual y las interacciones del cobre y de un detergente comercial sobre la germinación y crecimiento de radícula en semillas del árbol de Cachichin (*Oecopetalum mexicanum*)



Colaboración

Melissa Paola Gracia Anaya; José Guillermo Franzua Perdomo; Gabriel Grosskelwing Nuñez; Francisco Antonio Rodríguez Libreros; Arturo Cabrera Hernández, Tecnológico Nacional de México, campus Misantla

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 16 de abril de 2024

RESUMEN: Se investigó el efecto individual y las interacciones del cobre y un detergente comercial sobre la germinación de semillas de cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), una especie no convencional y recalcitrante de origen tropical. Se recolectaron semillas en Misantla, Veracruz, México y se sometieron a tratamientos con diferentes concentraciones de cobre y detergente. Se empleó un diseño factorial completo para analizar el porcentaje de germinación, longitud de radícula y del hipocótilo, y el peso de cada uno. Los resultados mostraron que el cobre incrementó significativamente la germinación hasta un 67% con 30 mg/L en ausencia de detergente, mientras que el detergente aumentó la germinación hasta un 40% con 2.5 ml/L. Sin embargo, la interacción entre ambos contaminantes resultó en una disminución de los efectos potenciadores individuales. Este estudio destaca la tolerancia de las semillas recalcitrantes de cachichín a niveles altos de cobre y sugiere un potencial uso de cobre como promotor de la germinación en semillas de comportamiento recalcitrante y parcialmente deshidratadas.

PALABRAS CLAVE: Germinación, Cobre, Detergente, Semillas recalcitrantes, Cachichín.

ABSTRACT: This study investigated the individual effect and interactions of copper and a commercial detergent on the germination of seeds of cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), an unconventional and recalcitrant species of tropical origin. Seeds were collected in Misantla, Veracruz, and subjected to treatments with different concentrations of copper and detergent. A full factorial design was used to analyze germination percentage, radicle and hypocotyl length, and weight of each. The results showed that copper significantly increased germination up to 67% at 30 mg/L in the absence of detergent, while detergent increased germination up to 40% at 2.5 ml/L. However, the interaction between the two contaminants resulted in a decrease in the individual potentiating effects. This study highlights the tolerance of recalcitrant cachichín seeds to high levels of copper and suggests a potential use of copper as a germination enhancer in recalcitrant and partially dehydrated seeds.

KEYWORDS: Germination, Copper, Detergent, Recalcitrant seeds, Cachichín.

INTRODUCCIÓN

México destaca como un país megadiverso con geografías y climas variados. Se estima que México alberga del 10 al 12% de la biodiversidad global. Lo anterior implica una alta responsabilidad para registrar, caracterizar, comprender y preservar tales riquezas naturales, a fin de crear programas y políticas ambientales que promuevan la salud de los ecosistemas y permitan la explotación de su capital natural [1].

En el área montañosa central del estado de Veracruz, México crece de forma silvestre el árbol de Cachichín (*O. mexicanum*) en ecotonos de bosque caducifolio y selva alta perennifolia. Este árbol produce un fruto pequeño y de forma ovalada envuelta en una cáscara gruesa y dura, la cual resguarda en su interior una almendra. Ha sido denominada especie cultural clave por su importante papel ecológico, nutricional, social y económico en las áreas donde está presente. [2]. De este árbol se aprovecha su madera, así como su fruto, el cual se consume de forma hervida o tostada y es ampliamente apreciado por su particular sabor amargo [3]. Los estudios iniciales sobre la germinación de esta semilla en tierra y papel húmedo, ha mostrado bajos porcentajes de germinación, asociados a su particular susceptibilidad frente a la desecación, por ello se ha sugerido que presenta ciertas características asociadas a las semillas recalcitrantes, lo cual dificulta su conservación y propagación [4].

Las semillas de cachichín alcanzan la maduración en los meses de febrero a mayo, desprendiéndose del árbol por dispersión biobalística. El embrión de esta semilla recién desprendida está diferenciado, observándose las estructuras completamente desarrolladas características de un embrión maduro. Evidencias previas sugieren que la semilla de cachichín presenta una germinación epigea con características que la clasifican como semilla recalcitrante; tales como el tamaño grande de la semilla, la ubicación del árbol asociada a selva alta subperennifolia, la correlación existente entre la pérdida de humedad durante la deshidratación y la pérdida de viabilidad de la semilla, así como la coincidencia entre el tiempo de diseminación de la semilla y la época de lluvias del año [4]. Las semillas recalcitrantes suelen germinar rápidamente, lo que les permite evitar condiciones ambientales desfavorables como se reportó previamente para la semilla de cachichín [4].

Al igual que otras especies tropicales, el árbol de cachichín enfrenta severos retos debido a la contaminación de su medio ambiente asociados a actividades antropogénicas, industriales y por desastres naturales, lo cual puede modificar el delicado equilibrio que existe en su hábitat. Se estima que un amplio porcentaje de los bosques y selvas de climas tropicales son los hábitats más amenazados en el mundo, comprometiendo la calidad del suelo, agua y aire [5].

En el suelo, diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos han sido detectados en estos ecosistemas producto de procesos naturales y de actividades antropogénicas, tales como los metales pesados y los detergentes [6]. Los metales pesados (MP) son contaminantes que generan gran preocupación debido a su bioacumulación, persistencia y nula degradación en el suelo [7-8]. El cobre es un MP que presenta una

función dual ya que, aunque es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y juega un papel importante en muchos procesos fisiológicos, es tóxico en altas concentraciones por sus características de generador de radicales libres [9].

Otro contaminante químico, los detergentes, son comúnmente empleados para la limpieza doméstica e industrial, así como para el cuidado personal entre otras aplicaciones, están compuestos de una mezcla de moléculas orgánicas complejas con características tensoactivas mejorados con una serie de aditivos que facilitan la ruptura de la grasa y ayudan a dispersarla en el agua. Entre los tensoactivos sintéticos sobresalen las sales de ácidos sulfónicos, sales cuaternarias de amonio, o surfactantes no iónicos o Zwitteriónicos que modifican las fuerzas de superficie o atracción existentes entre moléculas de la interfase en la zona de contacto y provoca el efecto de detergencia [10].

Sin embargo, el uso masivo de los detergentes promueve que grandes cantidades de estos se incorporen y afecten la calidad y salud de los ecosistemas a través de las aguas residuales. Diversos estudios han demostrado que la presencia de estos detergentes provoca un impacto negativo en la calidad del agua empleada en la germinación de semillas convencionales y silvestres, así como disminución en variables morfométricas de las plántulas emergentes [11-12].

El conocimiento actual sobre el efecto de cobre y detergentes en el proceso de germinación se ha enfocado empleando modelos de estudio de semillas comerciales convencionales, sin embargo, se requieren estudios sobre semillas comestibles de origen tropical y consumo local [13].

Por lo anterior en el presente trabajo se propone estudiar los efectos toxicológicos individuales de soluciones de cobre ó de detergente así como los efectos de interacción de ambos contaminantes, sobre la germinación, crecimiento y peso de la plántula del cachichín, una semilla comestible no convencional y de origen tropical. Determinar la susceptibilidad que las interacciones de ambos contaminantes podrían causar en la plántula es una manera más cercana a la realidad para evaluar sus efectos toxicológicos y así contribuir a establecer programas de propagación y conservación [13-15] ya que la interacción de ambos contaminantes en el suelo y las aguas residuales puede llevar a efectos sinérgicos de ambos contaminantes, exacerbando su toxicidad [16].

MATERIAL Y MÉTODOS

Reactivos y material biológico

Las semillas de cachichín (*O. mexicanum*), fueron recolectadas en la localidad de Pueblo Viejo (22°11'0" N, 97°50'0" W), perteneciente al municipio de Misantla,

Veracruz, México, en el mes de marzo del 2023. Posterior a su recolección, las semillas se secaron en el Laboratorio de Investigación Avanzada de Veracruz (LIAV) dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, bajo condiciones de temperatura y humedad ambiente por un periodo de cuatro semanas alcanzando una humedad residual del 13%. Al final del periodo de secado las semillas disminuyeron su peso y su cubierta presentó un color café característico.

Como fuente de cobre se empleó Sulfato de Cobre Pentahidratado $[CuSO_4 \cdot 5H_2O]$ marca Meyer y número de lote M0313101. El detergente empleado fue un detergente comercial líquido lavatrastes de marca líder, cuya composición reportada en la hoja de servicio indica agua, Alquil Sulfonato de Sodio 10%, C12 - 14 alcohol EO 10%, alquil sulfonato de magnesio 10%, óxidos de amina 10%, Alquil Sulfonato de Trietanolamina 10%, Etanol, perfume, EDTA Tetrasódico, colorantes, preservantes. El valor de pH oscila entre 7.5 y 8.5.

Técnica de germinación de semillas en papel húmedo

A fin de germinar las semillas de forma directa, rápida, fácil y económica se implementó la técnica de germinación de semillas en papel húmedo [17-18] empleando papel filtro Whatman grado 5 como soporte.

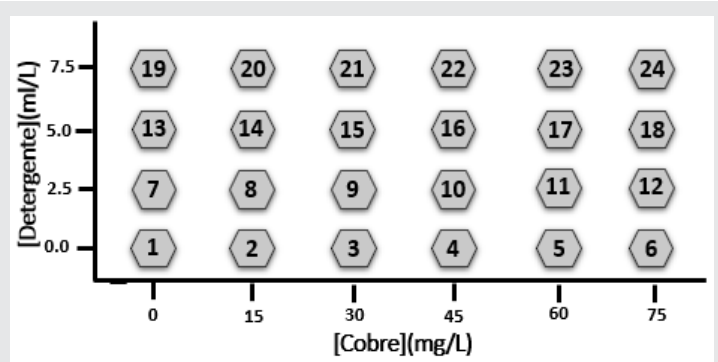


Figura 1: Enumeración de los tratamientos de sulfato de cobre y detergente en la germinación de semilla de Cachichín. Se asignaron los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6, para efectos individuales de cobre, tratamientos 7, 13 y 19 para efectos individuales de detergente y los restantes para los tratamientos que involucran interacciones. En el tratamiento 1 solo se aplico agua (control negativo).

Fuente: Elaboración propia.

En este método, 16 semillas son distribuidas especialmente sobre discos de papel filtro dentro de un contenedor plástico transparente con geometría cilíndrica y dimensiones 13 cm de diámetro y 18 cm de altura acondicionados como cámaras de germinación. Los discos de papel filtros fueron humedecidas con las soluciones de cada uno de los 24 tratamientos, en análisis por triplicado.

Los contenedores fueron incubados por 3 semanas bajo condiciones ambiente de humedad, temperatura e iluminación dentro del laboratorio en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México, durante el mes de mayo del 2023. Dos mililitros de agua natural marca "Bonafont" estéril por contenedor fueron adicionados cada semana para compensar las pérdidas por evaporación.

Diariamente se realizó una inspección visual para revisar la aparición de la radícula, la cual es el criterio para determinar si una semilla germinó. Al día 22 posterior a la siembra, aquellas semillas que germinaron fueron documentadas fotográficamente, se les extrajo el embrión y se midió la longitud de la radícula y la longitud del hipocótilo, además con ayuda de una navaja, se cortó el embrión germinado en dos partes, separando la radícula del resto del embrión y se pesaron ambas secciones. Del embrión se determinó el área y peso de cotiledones.

Diseño experimental

Se realizó el estudio utilizando el diseño factorial completo [19] a fin de analizar las variables de entrada: concentración de cobre y concentración de detergente y las variables de salida: el porcentaje de germinación, la longitud de la radícula y del hipocótilo, así como el peso cada uno de ellos. Además se determinó el área y peso de cotiledón. Para la concentración de cobre se establecieron seis niveles 0 mg/L, 15 mg/L, 30 mg/L, 45 mg/L, 60 mg/L, 75 mg/L y para la concentración de detergente se establecieron cuatro niveles: 0 ml/L, 2.5 ml/L, 5 ml/L y 7.5 ml/L. Las interacciones de los cinco niveles de cobre y detergente en solución acuosa, dieron lugar a 24 tratamientos los cuales se presentan en la Figura 1. A cada tratamiento se le asignó un número clave para facilitar su manejo en las diferentes secciones de este artículo.

Obtención de embriones

A fin de observar en detalle la germinación de cada semilla, los embriones completos germinados o sin germinar fueron extraídos. La corteza de la semilla de cachichín fue removida mecánicamente con ayuda de una pinza para nueces, la almendra liberada presenta una forma cuneiforme, la cual se sujetó manualmente y se realizó un corte de manera axial en la base mayor en de la semilla con una profundidad de 3 mm., removiendo este segmento. Posteriormente, se hizo una incisión longitudinal a la semilla de 3 mm de profundidad y con la ayuda de unas pinzas se abrió la almendra para descubrir el embrión. Cuidadosamente y con ayuda de unas pinzas para disección, se retiró y colocó el embrión en un recipiente con agua, como se muestra en la Figura 1C. Cada embrión fue caracterizado gravimétricamente y morfológicamente.

asegurar un suministro constante de agua a la plántula en desarrollo y les permitan escapar de depredadores [18].



Figura 2: Extracción y morfología de la semilla de cachichín germinada. Panel A: Exhibe la semilla en su estado inicial de germinación, donde el tegumento (cáscara exterior de la semilla) aún envuelve completamente al embrión. En esta fase, la radícula ha comenzado a emerger, iniciando el proceso de germinación. Panel B: Presenta la semilla con el tegumento removido, lo que permite observar claramente la expansión de la radícula. Panel C: muestra el embrión con la radícula, hipocótilo y cotiledones claramente visibles. Además, se puede ver el comienzo de la diferenciación de la plúmula, la parte del embrión que eventualmente se desarrollará en el tallo y las hojas de la planta. Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico de datos

Los datos de las variables de salida de los 24 tratamientos fueron registrados empleando el programa Excel 2016. Se filtró los datos atípicos y mediante la aplicación de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene se comprobó que los datos siguen una distribución normal y que las varianzas fueran homogéneas. Para los datos sobre la variable porcentaje de germinación se aplicó la transformación arco-seno a fin de promover que la varianza sea mas constante y aparezcan distribuidos normalmente.

Para las variables restantes, dado que los datos no presentaron un comportamiento normal, se aplicó un análisis estadístico tipo no-paramétrico empleando el análisis tipo AMOVA para diferencia de medianas ($p < 0.05$) para determinar si se presentaron diferencias entre el grupo de control y al menos una de las concentraciones aplicadas y como prueba post-hoc se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para identificar la significancia entre las medianas de cada una de las variables de respuesta.

RESULTADOS

Germinación y crecimiento de radícula en semillas del árbol de cachichín (*O. mexicanum*)

Las Figuras 1 y 2 presentan el curso de tiempo del desarrollo del embrión durante el proceso de germinación en el tratamiento control. En la Figura 1 se observa un crecimiento de la raíz mientras que no hay crecimiento en el hipocótilo del embrión. Este retraso en el crecimiento del hipocótilo se mantiene hasta el día 12 +/- 2 días, comportamiento similar al reportado previamente en otras semillas recalcitrantes que presentan latencia fisiológica del epicotilo, tales como *B. coccínea*, *H. laurifolia*, *Q. alba*, *Q. prinus* y *Q. ilicifolia*, donde hay una etapa de latencia en el crecimiento de la plúmula o epicotilo, tras la aparición de la radícula [20] y se ha sugerido que responde a cubrir la necesidad de

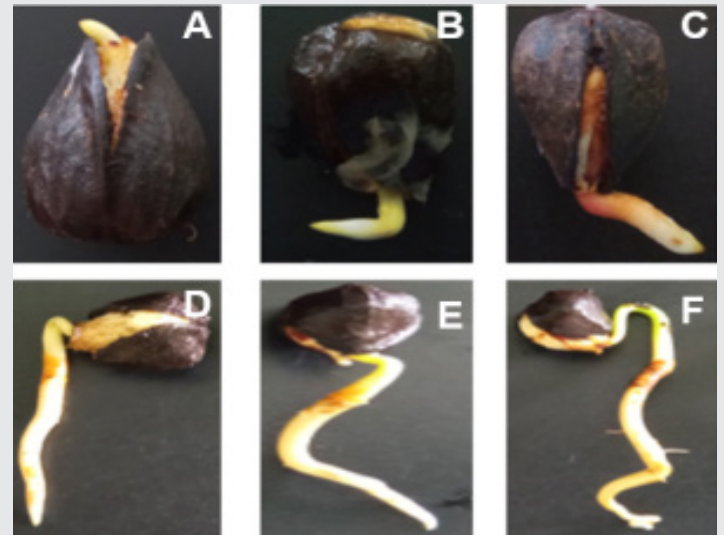


Figura 3: Emergencia de la radícula en la semilla de cachichín germinada. Panel A: Se observa la emergencia de la radícula a través de una fisura en el tegumento. Este proceso indica el comienzo de la germinación. Panel B y C: muestra la semilla durante una fase temprana de germinación con la radícula emergiendo, Panel D: presenta la semilla con un desarrollo considerable de la radícula y el inicio del crecimiento del hipocótilo, ambos con una pigmentación que sugiere un crecimiento saludable. Panel E: ilustra una semilla con una radícula muy alargada y un hipocótilo curvado, lo cual puede ser un indicativo de la búsqueda de agua o sustrato. Panel F: muestra una radícula extremadamente alargada y una plúmula que comienza a mostrar un crecimiento en espiral. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se observan diferentes ventanas de tiempo durante el desarrollo de la plántula en el tratamiento control. En el panel A, B, C y D se observa solo el crecimiento de la raíz y no se presenta crecimiento en el hipocótilo, mientras que en el panel E y F se observa el crecimiento inicial del hipocótilo.

Se ha reportado que las semillas de la mayoría de las especies con un embrión completamente formado, latencia fisiológica en el epicotilo y emergencia temprana de la raíz, son recalcitrantes. lo cual se ha propuesto como una estrategia para mantener la viabilidad de la semilla [21]

Efecto individual de cobre en la germinación de semillas de cachichín

La germinación de semillas deshidratadas de cachichín exhiben bajos porcentajes de germinación en el tratamiento control debido a su naturaleza recalcitrante. En la Figura 4 se observan que los porcentajes de germinación en agua alcanzaron el 12% (tratamiento 1), sin embargo, la adición de cobre promovió un notable aumento en la capacidad de germinación, con una mejora significativa en el porcentaje de germinación, alcanzando un pico del 67% con una concentración de cobre de 30 mg/L, en ausencia de deter-

gente. Este incremento se observó en todas las concentraciones evaluadas con porcentajes que alcanzan valores del 30%.

Actualmente la germinación de semillas recalcitrantes es difícil y se han reportado sólo algunos métodos para incrementar el porcentaje de germinación en estas [22], por ejemplo, aplicando nano burbujas de oxígeno ricas en potasio se aceleró significativamente

la germinación acumulada de una semilla recalcitrante envejecida (*Eutrema japonicum*), involucrando mecanismos de formación de especies reactivas de oxígeno, iones radicales y un suministro constante de oxígeno.

El incremento del porcentaje de germinación de una semilla con características recalcitrantes asociado a la presencia de cobre, sentaría un precedente para el uso de este metal como potenciador de la germinación en semillas de cachichín parcialmente deshidratadas a concentraciones relativamente altas.

Además, las concentraciones aplicadas son similares a las observadas para plantas que crecen en suelos contaminados con cobre, lo cual sugiere que la semilla de cachichín deshidratada es tolerante a estos niveles de cobre [23]. Estudios previos en gran cantidad de semillas han demostrado efectos fitotóxicos durante la germinación y el desarrollo de plántulas a bajas concentraciones de cobre dado su alta actividad redox. En nuestro caso, los altos niveles de cobre tolerados sugieren que el cobre no obstaculiza la germinación de semillas de cachichín y además podría desempeñar un papel en la activación de mecanismos de respuesta al estrés hídrico que impide la germinación de esta semilla [24].

Algunas especies o poblaciones tolerantes y muestran poca inhibición o daño, incluso si crecen en un ambiente severamente contaminado y acumulan altas concentraciones de cobre en sus tejidos. Por ejemplo, para el chícharo o guisante (*Pisum sativum*) no se reporta efectos del cobre en el porcentaje de germinación a concentraciones similares al del presente estudio [25] una situación similar se reportó para la col (*Brassica pekinensis* Rupr) [26]. La germinación de semillas de cachichín no es sensible al estrés por cobre.

Efecto individual de detergente en la germinación de semillas de cachichín

La aplicación del detergente a las semillas de cachichín durante la germinación también potenció el porcentaje de germinación alcanzando un 40% de germinación a una concentración de 2.5 ml/L. A concentraciones mayores se alcanzó un porcentaje de germinación del 30% (Figura 4). Estos resultados podrían reflejar una acción dual del detergente; a concentraciones bajas no inhibe completamente la germinación y podría estar implicado en la modulación de la disponibilidad de nutrientes o en la alteración de la estructura de las membranas de una ma-

nera que no es totalmente adversa para la germinación de la semilla, mientras que al incrementar su concentración se manifiestan los efectos fitotóxicos asociados a los detergentes al alterar la tensión superficial del agua y de las membranas celulares, desestabilizando la integridad de estas y alterando la permeabilidad y el intercambio de nutrientes y agua así como la dinámica osmótica esencial para la activación de la germinación [27].

El efecto potenciador del detergente a bajas concentraciones sobre semillas de cachichín parcialmente deshidratadas y con características recalcitrantes sugiere profundizar en este modelo a fin de establecer su potencial uso en la germinación de este tipo de semillas.

Efecto de las interacciones de cobre y detergente en la germinación de semillas de cachichín

La interacción entre los iones de cobre y los compuestos del detergente resultó en una disminución de los efectos potenciadores individuales durante la germinación de semillas de cachichín. Los valores del porcentaje de germinación disminuyeron paulatinamente a los valores obtenidos de germinación en agua cuando ambos contaminantes alcanzaron los valores más altos de concentración aplicados en este estudio (Figura 4).

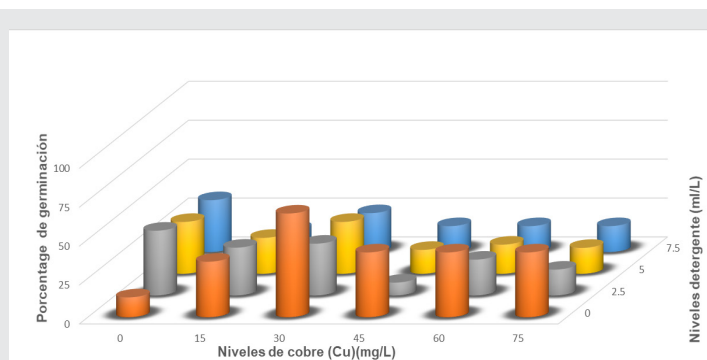


Figura 4. Porcentaje acumulado de germinación final en semillas de Cachichin expuestas a concentraciones variables de cobre, detergente y la combinación de ambos contaminantes. Fuente: Elaboración propia.

La falta de sinergia por la presencia de ambos contaminantes, sugiere mecanismos adversos para la germinación de esta semilla y en vez de actuar como facilitadores, podrían estar alterando la homeostasis iónica, aunque se desconocen los mecanismos involucrados durante las interacciones de ambos contaminantes. Por otra parte, la alta tolerancia durante el proceso de germinación de esta semilla a cobre y detergente, subrayan la necesidad de una evaluación más profunda del impacto de los contaminantes ambientales en la germinación de esta semilla de tipo recalcitrante, por su potencial uso para estudios de fitorremediación, además, por su carácter comestible, es importante determinar la potencial acumulación de este metal ya que podría bioacumularse y ser transferido a los consumidores [26]. Es necesario futuras investigaciones sobre esta resistencia para definir estrategias de manejo de cultivos de cachichín.

Efectos individuales del cobre, detergente y sus interacciones sobre el crecimiento de la radícula

Las series de gráficas de violín de los efectos individuales de cobre Figura 5, detergente Figura 6 así como las gráficas de contorno para las interacciones cobre/detergente Figura 7, ofrecen una visión integral del crecimiento inicial de plántulas de cachichín a diferentes concentraciones de cobre y detergente. Los datos indican una tendencia general de variación no significativa para las variables de respuesta de longitud de tallo, peso de tallo, peso de raíz y peso de cotiledón.

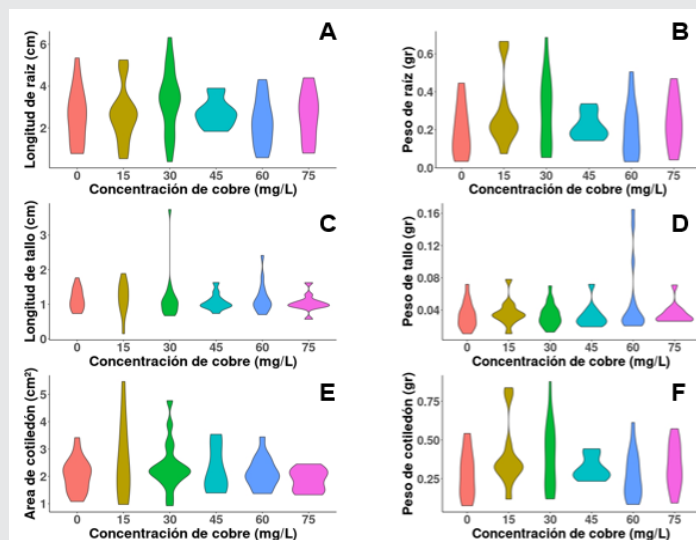


Figura 5. Efectos individuales del cobre sin detergente sobre longitud de raíz (A), peso de raíz (B), longitud de tallo (C), peso de tallo (D), área de cotiledón (E) y peso de cotiledón (F). Fuente: Elaboración propia.

Se reportan diferencias significativas en la longitud de tallo y área de cotiledón ($p < 0.05$), con respecto a las concentraciones de ambos contaminantes.

Con respecto a la longitud de tallo se observa una disminución al incrementarse las concentraciones de cobre o detergente, así como una sinergia del efecto negativo en presencia de ambos contaminantes. Diversos estudios han demostrado que los efectos principales de un exceso de cobre o de detergente en el crecimiento de diversas especies está dirigido al crecimiento de raíces y brotes, teniendo como consecuencia una menor exploración del suelo por parte de las raíces [24]. Para el crecimiento de la raíz principal del cachichín, la presencia de cobre o detergente disminuyó la longitud promedio mientras que la presencia de ambos contaminantes tuvo efectos sinérgicos y disminuyó la longitud de raíz de 3.25 a 2.25 cm.

En contraste, para la variable de salida peso de raíz, aunque con una tendencia similar esta no fue significativa ($p < 0.05$).

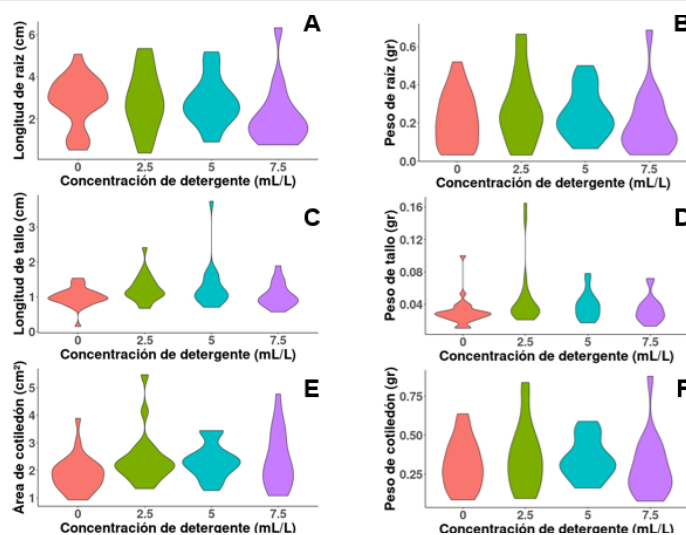


Figura 6. Efectos individuales del detergente sobre longitud de raíz (A), peso de raíz (B), longitud de tallo (C), peso de tallo (D), área de cotiledón (E) y peso de cotiledón (F). Fuente: Elaboración propia.

El área de cotiledón también mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en presencia de cobre y/o detergente, observándose un incremento en sus valores al incrementar la concentración de detergente y una disminución al incrementarse los valores de cobre. Al interactuar ambos contaminantes se observa que el efecto del cobre es atenuado por la presencia del detergente, lo que permite obtener valores tan altos como los alcanzados por el detergente solo. No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el peso del cotiledón. La disminución en el área de cotiledón y el peso de la raíz sugiere una interferencia en la capacidad de la plántula para almacenar y movilizar recursos durante etapas críticas de desarrollo, lo que puede tener consecuencias a largo plazo en la supervivencia y la competencia de la planta en su hábitat natural. Además, la reducción en la longitud de la raíz podría tener implicaciones para la absorción de agua y nutrientes, la interacción con la microflora del suelo y la estabilidad física de la planta.

La falta de efectos significativos sobre el crecimiento de los brotes de la semilla de cachichín a concentraciones que en otras especies comprometen el crecimiento de la planta sugiere un alto potencial de tolerancia de esta especie frente a ambos contaminantes, lo cual permite proponer esta especie como candidata potencial para estudios de fitorremediación.

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que las semillas recalcitrantes de cachichín (*O. mexicanum*) presentan una tolerancia notable a altas concentraciones de cobre, lo que resulta en un incremento significativo en la germinación. Sin embargo, la interacción entre el cobre y

el detergente disminuye los efectos promotores individuales sobre la germinación. Los hallazgos sugieren que el cobre podría utilizarse como potenciador de la germinación en semillas de cachichín parcialmente deshidratadas con bajos porcentajes de germinación, aunque es necesario investigar más sobre los mecanismos involucrados y la seguridad alimentaria debido a la posible bioacumulación de metales pesados. Este estudio contribuye al entendimiento del impacto de los contaminantes ambientales en la germinación de semillas recalcitrantes y subraya la importancia de desarrollar estrategias de manejo y conservación para especies no convencionales en ecosistemas tropicales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado a la estudiante Melissa Paola Gracia Anaya 1274663 para la realización de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Gobierno de México (2018). *México Megadiverso*. Consultado el 16 de febrero del 2024, página de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/mexico-megadiverso-173682>.

[2] Lascurain, M., Lopez-Binnquist, C., & López, J. C. (2018). El árbol de cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) una especie cultural clave de Veracruz, México. In *De la recolección a los agroecosistemas. Soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad*. Xalapa: Universidad Veracruzana. <https://doi.org/10.25009/uv.2075.513>.

[3] Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., López-Binnquist, C., López-Acosta, J. C., Covarrubias-Báez, M., & Duno de Stefano, R. (2013). Uso y flora leñosa asociada a *Oecopetalum mexicanum* (Icacinaceae): Una especie comestible nativa de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Botanical Sciences*, 91(4), 477–484. <https://doi.org/10.17129/botsci.424>

[4] Franzua-Perdomo J.G., Gracia-Anaya M.P., Grosskelwing-Nuñez G, Cabrera-Vazquez A., Cabrera-Hernandez A. (2024). Estudio sobre la germinación y crecimiento de plántula de semillas del árbol de cachichín (*Oecopetalum mexicanum*). [Manuscrito presentado para su publicación].

[5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>.

[6] Singh, B.R., & Steinnes, E. (2020). Soil and Water Contamination by Heavy Metals. In *Soil Processes and*

Water Quality (pp. 233–271). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003070184-6>.

[7] El-Meihy, R. M., Abou-Aly, H. E., Youssef, A. M., Tewfike, T. A., & El-Alkshar, E. A. (2019). Efficiency of heavy metals-tolerant plant growth promoting bacteria for alleviating heavy metals toxicity on sorghum. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.005>.

[8] Vicepresidencia tercera del Gobierno (n.d.). *Metales pesados*. Consultado el 19 de febrero del 2024, página del Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Madrid, España. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/metales_pesados.html.

[9] Jin, M. -F., You, M. -X., Lan, Q. -Q., Cai, L. -Y., & Lin, M. -Z. (2021). Effect of copper on the photosynthesis and growth of *Eichhornia crassipes*. *Plant Biology*, 23(5), 777–784. <https://doi.org/10.1111/plb.13281>.

[10] Sudheshna, A. A., & Srivastava, M. (2022). Laundry Detergents: A Potential Resource of Pollution and Overutilisation. *London Journal Of Research In Science: Natural And Formal*, 22(7), 15–23.

[11] Alarcón, C., Grosskelwing, G., Vicencio, E., & Cabrera, A. (2023). Efecto fitotóxico de productos de limpieza comerciales sobre la germinación y crecimiento inicial de *Melotria scabra* (sandía de ratón). *Ingeniantes* 6, 17–23..

[12] Hernández-Baranda, Y., Echevarría-Machado, I., Rodríguez-Hernández, P., & Estrada-Medina, H. (2023). Effect of detergents on the germination and initial growth of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) plants. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(3). <https://doi.org/10.17584/rcch.2023v17i3.16577>.

[13] Visscher, A. M., Vandeloos, F., Fernández-Pascual, E., Pérez-Martínez, L. V., Ulian, T., Diazgranados, M., & Mattana, E. (2022). Low availability of functional seed trait data from the tropics could negatively affect global macroecological studies, predictive models and plant conservation. *Annals of Botany*, 130(6), 773–784. <https://doi.org/10.1093/aob/mcac130>.

[14] Heidari, H., & Kahrizi, D. (2018). Effect of water stress and contaminated water on seed germination traits and early growth in maize (*Zea mays*). *Environmental Engineering and Management Journal*, 17(1), 35–42. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.005>.

[15] Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2022). Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *Jour-*

nal of Environmental Management, 305, 114417. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114417>.

[16] Priya, M., & Shankar, S. (2020). Effect of Heavy Metals on Growth and Development of Cultivated Plants with Reference to Cadmium, Chromium and Lead -A Review. Effect of Heavy Metals on Growth and Development. Original Text Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 16(3), 84-102. <https://cyberleninka.ru/article/n/effect-of-heavy-metals-on-growth-and-development-of-cultivated-plants-with-reference-to-cadmium-chromium-and-lead-a-review/viewer>.

[17] Yang, G., Yang, L., Wang, Y., & Shen, S. (2017). Physiological epicotyl dormancy and its alleviation in seeds of *Yunnanopilia longistaminea*: the first report of physiological epicotyl dormancy in China. PeerJ, 5, e3435. <https://doi.org/10.7717/peerj.3435>.

[18] Pammenter, N. W., & Berjak, P. (2000). Evolutionary and ecological aspects of recalcitrant seed biology. Seed Science Research, 10(3), 301-306. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000349>.

[19] Masomi, S. H., Imani, A., Seyfzade, S., & Zakerin, H. R. (2023). Effect of drought-induced stress by PEG6000 on physiological and morphological traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed germination in order to assortment of drought tolerant cultivars. Journal of Plant Process and Function, 11(52), 1-12. <https://jispp.iut.ac.ir/article-1-1647-fa.html>.

[20] Shen, S.-K., Wang, Y.-H., & Ma, H.-Y. (2010). Seed germination requirements and responses to desiccation and storage of *Apterosperma oblata* (Theaceae), an endangered tree from south-eastern China: implications for restoration. Plant Species Biology, 25(2), 158-163. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2010.00278.x>.

[21] Jayasuriya, K. M. G. G., Wijetunga, A. S. T. B., Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2012). Physiological epicotyl dormancy and recalcitrant storage behaviour in seeds of two tropical Fabaceae (subfamily Caesalpinioideae) species. AoB Plants, 2012(0), pls044-pls044. <https://doi.org/10.1093/aobpla/pls044>

[22] Kim, M., Shoji, A., Kobayashi, T., Shirai, Y., Sugawara, S., & Takahashi, M. (2023). Accelerated germination of aged recalcitrant seeds by K⁺-rich bulk oxygen nanobubbles. Scientific Reports, 13(1), 3301. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30343-2>.

[23] Besrukow, P., Will, F., Dussling, S., Berkelmann-Löhnertz, B., & Schweiggert, R. (2023). Additive and synergistic antifungal effects of copper and phenolic extracts from grape cane and apples. Pest Management Science, 79(9), 3334-3341. <https://doi.org/10.1002/ps.7519>.

[24] Torre, A. L., Iovino, V., & Caradonia, F. (2018). Copper in plant protection: current situation and prospects. Phytopathologia Mediterranea, 57(2), 201-236. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Mediterr-23407.

[25] Kunjam, M., Govada, H., Mididoddi, N., & Kota, R. S. (2015). Studies on selected heavy metals on seed germination and plant growth in pea plant (*Pisum sativum*) grown in solid medium. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 3(5), 85-87.

[26] Xiong, Z.-T., & Wang, H. (2005). Copper toxicity and bioaccumulation in Chinese cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.). Environmental Toxicology, 20(2), 188-194. <https://doi.org/10.1002/tox.20094>.

[27] Hassouna, M., Aboshosha, S., Soliman, S., & Al-Dahmashi, M. (2007). Effect of detergent -polluted water on the health of tomato plants. Journal of Plant Production, 32(10), 8193-8204. <https://doi.org/10.21608/jpp.2007.220896>.

ANEXOS:

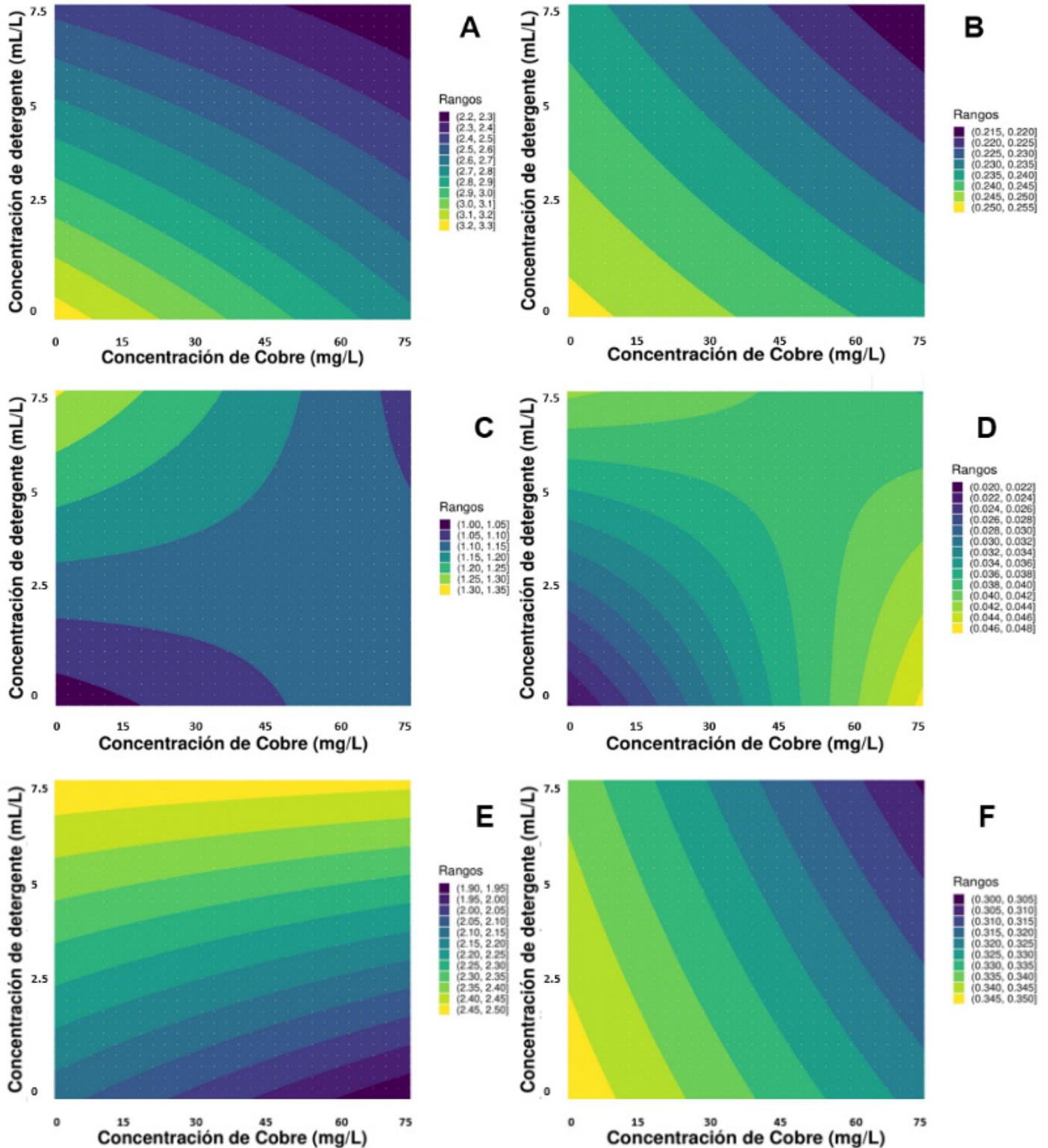


Figura 7. Gráficos de contorno para los efectos de las interacciones del cobre y un detergente comercial sobre longitud de raíz (A), peso de raíz (B), longitud de tallo (C), peso de tallo (D), área de cotiledón (E) y peso de cotiledón (F).



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Protocolo de pruebas mecánicas para la evaluación, diagnóstico de equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje de personal



Colaboración

Juan Carlos Méndez Gutiérrez; Miguel Ángel Esquivel Sánchez; Julio César Méndez Gutiérrez; Fernando Jurado Pérez; Juan Martín Álvarez Ibarra, Tecnológico Nacional de México / campus Irapuato

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: El presente caso de estudio está enfocado en la seguridad del operador que utiliza equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje, los cuales son utilizados para ejecución de maniobras de operación, mantenimiento y construcción, estos deberán cumplir excelentes condiciones operativas y de funcionamiento. El presente protocolo de pruebas engloba un diagnóstico concreto que destaca la seguridad de operación de equipos hidráulicos con brazo aislado para izaje. Estas pruebas se verifican mediante la inspección visual, pruebas operativas, dieléctricas, emisión acústica y retención de carga por el equipo hidráulico. Así dictaminando mediante el estudio y su análisis las características que debe cumplir para la clasificación de la categoría de cada uno de los equipos. Es importante destacar que los equipos de deben someter periódicamente a análisis de evaluación y diagnóstico.

PALABRAS CLAVE: Emisión Acústica, Pruebas Operativas, Prueba dieléctrica, Verificación de Sistema Hidráulico, Categoría, Seguridad.

ABSTRACT: This case study is focused on the safety of the operator who uses hydraulic equipment with isolated arm for lifting, which is used to execute operation, maintenance and construction maneuvers, these must meet excellent operating and operating conditions. This test protocol encompasses a specific diagnosis that highlights the safe operation of hydraulic equipment with an isolated lifting arm. The tests are verified through visual inspection, operational tests, dielectrics, acoustic emission and load retention by the hydraulic equipment. Thus, ruling through the study and analysis of the characteristics that must be met for the classification of the category of each of the teams. It is important to highlight that the equipment must periodically undergo evaluation and diagnostic analysis.

KEYWORDS: Acoustic Emission, Operational Tests, Dielectric Test, Hydraulic System Verification, Category, Safety.

INTRODUCCIÓN

Los equipos hidráulicos con brazo aislado utilizados para el izaje y giro de personal, son equipos de vital importancia para el desarrollo y desempeño en el sistema eléctrico la importancia en las maniobras de desarrollo operativas, de mantenimiento correctivo. En la actualidad se cuentan con 3 tipos de equipos hidráulicos de brazo aislado dentro de la suministradora con características muy singulares para casos específicos. Articulada canasta sencilla (sin accesorio de carga), Articulada doble canasta con accesorio de carga suplementaria (aguilón) y telescópica con barrena excavadora. La importancia de evaluar, ejecutar y diagnosticar las condiciones de los equipos es vital mediante una serie de

pruebas, destacando la caracterización y categorización de cada equipo [1].

El tren de pruebas de verificación de la sanidad en los materiales se describe a continuación: pruebas de Inspección Visual, prueba Operativa, Dieléctrica, Emisión Acústica, forman parte de la ejecución del análisis y del expertise técnico. A través del análisis y verificación se asigna una categoría de estado por equipo bajo prueba, siendo estas:

- Categoría 4 (Buen estado general).
- Categoría 3 (En condiciones de operación)
- Categoría 2 (Uso limitado).
- Categoría 1 (No operar).

Inspección Visual.- es la revisión de los componentes como: puntos de lubricación, mangueras, pernos cilindros estructura del equipo, soldaduras, controles y sistema de seguridad además de operan controles y el análisis de posibles facturas, daños estructurales, desgastes en componentes, fugas de aceite y fallas en el funcionamiento del equipo entre otro.

Prueba Dieléctrica.- se lleva a cabo para la determinar del grado de aislamiento del brazo aislado consistiendo básicamente en aplicar tensión en la parte metálica del brazo aislado con referencia a tierra, inyectando 80 kV por un lapso de 3 minutos durante este tiempo no debe contener una corriente de fuga que supere 1 mA en caso que se exceda de ese valor indicativo de daño de alguno de sus componentes en donde entran el brazo, mangueras, aceite, contaminación del brazo o presencia de humedad etc.

Emisiones Acústicas.- Consiste básicamente en determinar posibles fracturas, fisuras de los materiales o componentes estructurales de los brazos o extensiones del equipo hidráulico, las fracturas en ocasiones son poco visibles por lo que con la ayuda de sensores acústicos, en el rango de frecuencia de 20 a 200 kHz, es posible detectar fracturas que no se aprecian durante la inspección visual, esta prueba consiste en sacar todas las extensiones del equipo hidráulico y poner una carga de 1.5 a 2 veces la carga nominal teniendo todas las extensiones fuera y en posición horizontal, se deja por 4 minutos, durante este tiempo se observa la actividad acústica registrada por los 10 sensores instalados en lo largo a las extensiones de la grúa, se determina que el equipo hidráulico no tiene fracturas si la magnitud y frecuencia de la actividad acústica es menor a 70 db y 150 hits respectivamente, de lo contrario se suspende la prueba y se verifica que sensor tuvo mayor actividad y se realiza una inspección más a detalle del componente hasta determinar el origen de la actividad acústica detectada [2]. En base a lo descrito se dictamina las categorías para el estado de las grúas, por ejemplo la viabilidad de los equipos, la categoría 4 aplica si el equipo no presentan observación o bien presenta una sanidad viable,

para el caso de la categoría 3 entran los equipos con observaciones básicas pero mantienen la capacidad de operación funcionándoles generalmente todos los mandos y sin poner riesgo la integridad física de los operadores y del propio equipo, la categoría 2, es un equipo presenta condiciones que limitan su uso de riesgo del usuario como puede ser una corriente de fuga, siendo la indicación no operar en líneas electrificadas, o también si presenta fallo de freno de potencia denominado mico, se indica que no puede ser operada en actividades donde el plano sea inclinado, las observaciones detectadas de esta índole requieren atención inmediatamente mediante servicios de mantenimiento preventivo programado [3].

No operar / categoría 1, aplica al equipo cuando presentan condiciones inoperables, como el caso de fracturas en los elementos que componen los brazos de elevación, falta de barra estabilizadora, canastilla de acceso al operador quebrada o faltante de tornillería de sujeción, etc. Todos estos detalles imposibilitan el uso del equipo hidráulico al poner en riesgo al operador de la grúa, y esta debe ser atendida de manera inmediata para realizar el mantenimiento correctivo. En la Figura 1 se puede observar un equipo hidráulico de elevación de 12 m de canastilla simple.

MATERIAL Y MÉTODOS

El diagnóstico de sistemas hidráulicos como es conocido se enfoca en la inspección visual, pruebas operativas, capacidad dieléctrica o determinación de corriente de fuga, en donde se destaca la prueba de emisión acústica a la par con prueba de capacidad de retención de carga del equipo hidráulico.



Figura 1. Equipo hidráulico de brazo aislado.

Fuente: Elaboración propia.

La inspección visual técnica para la detección a simple vista asegurar el funcionamiento hidráulico, neumático, mecánico o bien eléctrico de los equipos. Detectar fallas, fugas para el caso específico en las conexiones,

falta de torque en las juntas, uniones etc., así como fracturas y discontinuidades de material en los brazos aislados y metálicos en las canastillas de acceso al operador [4].

En el presente estudio se detectó el buje de la Catarina inferior del sistema de nivelación de canastilla con desgaste, en la Figura 2 se puede apreciar el desgaste del buje en donde se percibe la posición por la presencia del seguro omega, y estando en condición de dar seguimiento considerando que de no ser atendido la canastilla giraría sin sentido y en donde al estar operando podría tirar al operador durante la elevación y uso del equipo.



*Figura 2. Bujes de Catarina de sistema de nivelación de canastilla con desgaste severo.
Fuente: Elaboración propia.*

Existen observaciones que no son del todo críticas y en primera instancia suelen aparentar ser del orden estético, pero con el paso del tiempo pueden llegar a convertirse en factor crítico, como sería el caso de herrumbre que al no ser atendido se pierde material progresivamente, lo que lo lleva al material a perder propiedades dieléctricas y mecánicamente ser concentrador de esfuerzos en la Figura 3 se puede observar un equipo operable con las características antes descritas [5].



*Figura 3. Brazo metálico presentando herrumbre en su estructura.
Fuente: Elaboración propia.*

En las pruebas operativas es conveniente ejecutar todas las funciones del equipo hidráulico cuya finalidad es poder verificar la correcta funcionalidad del sistema, desde mandos inferiores accionando todos, realizando una secuencia de ciclos del sistema para que este regule la presión y temperatura del aceite hidráulico.

La operación desde mandos superiores a la canastilla verificando el funcionamiento en su totalidad el equipo también desde estos mandos, revisando para el caso de las grúas de doble canasta, la apertura de estas, la funcionalidad de las herramientas auxiliares tales como el malacate, herramientas hidráulicas, levante de aguilón para la carga, y durante el giro del sistema se revisa la sujeción de la junta rotatoria, la sujeción de la plataforma al chasis y para el caso de las grúas sin actuadores estabilizadores, el correcto funcionamiento de la barra estabilizadora, en el caso de las barrenas el correcto uso de la broca perforadora, la operación de las guías de postes. En la Figura 4 se puede apreciar lo antes descrito dentro del monitoreo de la grúa.



*Figura 4. Operación de giro de un equipo hidráulico de elevación de canastilla sencilla.
Fuente: Elaboración propia.*

En la Figura 5 se puede apreciar la operación de un equipo hidráulico telescópico con broca perforadora y malacate sintético para izaje de cargas, en donde se presenta la extensión de sus brazos el metálico y el de material aislante, a la vez comprobando la funcionalidad del malacate y la función de elevar el brazo en su totalidad.

Derivado del estudio se encontró una fuga considerable de aceite hidráulico en el block de válvulas de mandos superiores, la cual entorpece la realización del tren de pruebas, en la Figura 6 se observa lo descrito.



Figura 5. Operación de giro de un equipo hidráulico de elevación de canastilla sencilla.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Fuga de aceite hidráulico durante la prueba operativa en un equipo hidráulico de elevación de doble canasta.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba dieléctrica comprende el aseguramiento del equipo con relación en las propiedades dieléctricas donde este debe contar con los aislamientos necesarios para la integridad del operador electrocutado o víctima de descargas eléctricas que pongan en riesgo su seguridad, dentro de la normativa de seguridad y de los mecanismos los cuales se pueden validar con la especificación ANSI A92.2 2021 y ANSI A10.31 2019 [4].

En los datos de placa de los equipos hidráulicos se puede visualizar el voltaje de operación, el tipo de aislamiento para el caso de brazo aislado es 46 kV, sin embargo, en operación en media tensión el voltaje máximo es de 38 kV, siendo una tensión menor a la de diseño, asegurando la condición inyección de voltaje. En corriente alterna, para el caso de estas grúas de brazo aislado de 60 kV, por un lapso de 60 segundos, teniendo en cuenta que como regla general de seguridad se

puede obtener una corriente de fuga no mayor a 1 mA. En la Figura 7 es posible percibir la inyección de corriente mediante la consola en donde se observa el potencial de inyección a 60 kV y la corriente de fuga obtenida que presenta el equipo hidráulico probado en el periodo de 60 segundos.



Figura 7. Inyección de voltaje y corriente de fuga durante la prueba dieléctrica a un equipo hidráulico de canastilla sencilla. Fuente: Elaboración propia.

En el caso grúas tipo barrenas o derrick, estos equipos con inserto doble de aislamiento en sus brazos y la doble canasta cuentan con mayor aislamiento operando en tensiones de hasta 69 kV y de manera particular en el presente estudio se inyectó un voltaje al orden de los 80 kV implementado la misma técnica al aplicar esta tensión, durante 60 segundos leyendo corrientes de fuga no mayores a 1 mA.

En la Figura 8 se muestra la inyección de corriente destacando la prueba dieléctrica observando el voltímetro a una escala de inyección de 80 kV y obteniendo una corriente de fuga menor a 1 mA en el periodo de 60 s.



Figura 8. Inyección de voltaje y corriente de fuga durante la prueba dieléctrica a un equipo hidráulico con barrena. Fuente: Elaboración propia.

En diversos ensayos la lectura de corriente de fuga cuando es mayor a 1 mA puede existir diversas causas por lo cual se determina para este tipo de casos en particular que el equipo no cuenta con las propiedades dieléctricas [6].

A continuación, se puede percibir en la Figura 9 el caso particular de un ensayo dieléctrico del brazo aislado, realizando una inyección de voltaje y determinando la corriente de fuga al término del material aislante.



Figura 9. Inyección de voltaje en un brazo aislado para determinar sus propiedades dieléctricas
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, si el valor de corriente de fuga obtenido es mayor a lo permitido se concluye que el brazo aislado se encuentra contaminado por lo cual se puede recomendar que se retire la capa de recubrimiento y se aplique una capa nueva de material aislante.

RESULTADOS

Del análisis de los casos prácticos de diagnóstico en los cuales fue posible realizar las pruebas, además de determinar la sanidad de los equipos y de la revisión de la prueba de emisión acústica en la cual se determina y se verifica la integridad de los materiales que conforman las partes y componentes principales de la grúa, determinando así los posibles daños o la disminución de la capacidad mecánica de los materiales [7].

A través de ensayos no destructivos se puede identificar cualquier imperfecto que interfiera con la correcta ejecución. Los sensores utilizados para realizar el ensayo de emisión acústica estuvieron perfectamente unidos con el elemento a evaluar para el caso de estudio equipo hidráulico, siendo necesario que estén acústicamente acoplados, utilizando cualquiera de los tres métodos implementados para la sujeción de los sensores.

El acoplamiento del sensor acústico conlleva a la evaluación por medio del acoplante acústico, el cual tiene la función de expulsar las burbujas de aire las cuales

puedan existir entre el sensor y el elemento de prueba [8].

Al instalar sensores en superficies curvas no es posible obtener buenos resultados esto es debido a que se pierde la linealidad del área de contacto, estos sensores son de conteo de baja frecuencia que son capaces de censar el número total de eventos detectados durante la prueba de esfuerzos utilizados para fibra de vidrio y en el caso de las superficies metálicas se utilizan los sensores de conteo de alta frecuencia de amplitud.

El adquirente de datos que se emplea para esta técnica adquiere una señal y la transduce en forma de gráfica en el cual se presenta el número de eventos durante la prueba por canal, determinando para aquellos mayores a 40 dB de amplitud son denominados de bajo umbral y mayores a 70 dB de amplitud alto umbral.

La configuración del mecanismo de levante aéreo está determinada por el tipo de construcción de la grúa, esta configuración es detallada por los métodos ASTM F914 (canastilla sencilla), ASTM F1430 (canastilla doble o equipo con auxiliar de carga, aguilón) y ASTM F1797 (telescópica una barrana y canastilla) para cada tipo de grúa.

En la Figura 10 se observa la aplicación de la carga con la ayuda de un polipasto de cadena el cual se une a la grúa en un extremo y en el otro a una celda de carga. Por medio de la celda de carga se monitorea y controla la aplicación de carga, se aplica después de dar un periodo de relajación al material de 2 minutos.



Figura 10. Aplicación de la carga generando un esfuerzo al equipo para ensayo de emisión acústica.
Fuente: Elaboración propia.

La secuencia de aplicación de carga se muestra en la Figura 11 de acuerdo con las recomendaciones del método ASTM F914-91.

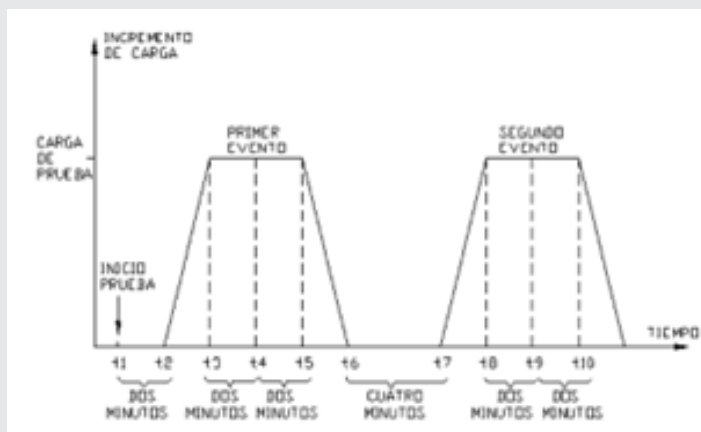


Figura 11. Aplicación de carga para generar el esfuerzo al equipo hidráulico durante el ensayo de Emisión acústica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se observa instrumentada una grúa a 90° a la cual se le aplicaron los escalones de carga y cuenta con los sensores debidamente instalados para la prueba de emisión acústica.



Figura 12. Instrumentación del ensayo de Emisión acústica a un equipo hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

En base a las pruebas de emisiones acústicas las cuales fueron debidamente instaladas y ejecutadas determinando si existía ruido de fondo, este ruido pudiera ser de otra fuente y debe ser eliminado o tomar en cuenta las frecuencias con que se produce el ruido para la interpretación de los resultados. En la capacidad de retención de carga del equipo hidráulico se determina la pérdida de carga la cual no debe ser mayor al 20%, después de iniciar el decremento de carga, se toma un reposo de cuatro minutos y posteriormente se procede a cargar. Los datos deben ser analizados para determinar si existen fisuras, fracturas u otro mecanismo de daño ocurriendo en la estructura; definiendo así la integridad estructural del mecanismo aéreo.

CONCLUSIONES

En el análisis de estudio se desarrolló la conjunción de diversas técnicas para poder realizar una serie de ensayos normalizados a través de determinar las ca-

racterísticas de operación de un equipo hidráulico de brazo aislado, y a su vez determinar una categoría de sanidad siendo de vital prioridad para garantizar la seguridad del equipo y del operador, este tipo de técnica diagnósticas, ayudan a realizar mantenimientos programados semestrales y poder atender de manera continua los defectos y condiciones inseguras que pueden impactar por completo la seguridad, y a través de estas revisiones poder mejorado las condiciones de los equipos hidráulicos y reducido considerablemente los accidentes, siendo vital importancia en la operación del sistema eléctrico nacional.

BIBLIOGRAFÍA

[1] L. Gambilongo, A. Barontini, R. A. Silva, and P. B. Lourenço, "Evaluation of non-destructive techniques for mechanical characterisation of earth-based mortars in masonry joints," *Constr Build Mater*, vol. 392, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131960.

[2] M. C. Cavalli et al., "Review of advanced road materials, structures, equipment, and detection technologies," *Journal of Road Engineering*, vol. 3, no. 4. KeAi Publishing Communications Ltd., pp. 370-468, Dec. 01, 2023. doi: 10.1016/j.jreng.2023.12.001.

[3] C. Chen, H. Fu, Y. Zheng, F. Tao, and Y. Liu, "The advance of digital twin for predictive maintenance: The role and function of machine learning," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 71. Elsevier B.V., pp. 581-594, Dec. 01, 2023. doi: 10.1016/j.jmsy.2023.10.010.

[4] Z. Mian et al., "A literature review of fault diagnosis based on ensemble learning," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 127, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2023.107357.

[5] F. TAO et al., "makeTwin: A reference architecture for digital twin software platform," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 37, no. 1, pp. 1-18, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.cja.2023.05.002.

[6] S.-L. Jamsa-Jounela, T. Kuitunen, C. Quiroz, and J. Kampe, "FAULT DIAGNOSIS AND REMOTE SUPPORT SYSTEM FOR THE V ARIABLE VOLUME PRESSURE FILTER."

[7] Y. You, C. Chen, F. Hu, Y. Liu, and Z. Ji, "Advances of Digital Twins for Predictive Maintenance," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 1471-1480. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.348.

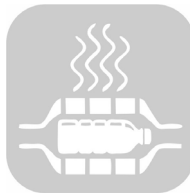
[8] A. Mardalizad, M. Caruso, A. Manes, and M. Giglio, "Investigation of mechanical behaviour of a quasi-brittle material using Karagozian and Case concrete (KCC) model," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 1119-1137, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jrmge.2019.01.005.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Reciclaje térmico-catalítico de Polietileno tereftalato (PET)



Colaboración

José Nolasco Cruz, Universidad de Guanajuato; Irma Pérez Hernández; Arturo Rivera López; Angélica Pérez Hernández; Diana Ivette Montejo Arroyo, Universidad Veracruzana

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: El polietileno tereftalato (PET) es uno de los plásticos con mayor demanda a nivel comercial, ya que, puede ser encontrado en casi todos los productos envasados, como son, botellas de refrescos, envases plásticos, y film para embalaje. Esto ha generado serios problemas ambientales debido a su disposición como un residuo sólido.

El presente trabajo se concentra en estudiar mediante su degradación térmica-catalítica el reciclaje alternativo del PET. El estudio experimental se llevó a cabo en un reactor tipo batch a temperaturas de 300 a 600 °C con incrementos de 50 °C/h, midiendo la demanda de energía eléctrica consumida con el fin de obtener las eficiencias energéticas del proceso.

PALABRAS CLAVE: PET, Reciclaje alternativo- degradación térmica-catalítica.

ABSTRACT: Polyethylene terephthalate (PET) is one of the plastics with the greatest commercial demand, since it can be found in almost all packaged products, such as soft drink bottles, plastic containers, and packaging film. This has generated serious environmental problems due to its disposal as solid waste.

The present work focuses on studying the alternative recycling of PET through its thermal-catalytic degradation. The experimental study was carried out in a batch reactor at temperatures of 300 to 600 °C with increments of 50 °C/h, measuring the demand for electrical energy consumed in order to obtain the energy efficiencies of the process.

KEYWORDS: PET, Alternative recycling-thermal-catalytic degradation.

INTRODUCCIÓN

La alza en el consumo de combustibles y energía a nivel mundial, el desabasto en las fuentes de petróleo y aumento en los productos obtenidos directamente del petróleo, han comenzado por motivar a los investigadores de diversos ramos a buscar fuentes alternas de energía y producción de materias primas. Por otra parte, tanto a nivel nacional como internacional se ha comenzado a presentar graves problemas por la disposición de residuos sólidos urbanos, ocasionando impactos ambientales perjudiciales.

La degradación térmica o pirólisis es un proceso que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, esta puede ser lenta o rápida dependiendo de los tiempos de residencia del proceso [1]. Algunos autores han estudiado este proceso con diferentes tipos de plásticos tales como: polipropileno (PP), polietileno de baja densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), poliestireno (PS) [2]-[10], neumáticos [11], [12], polietileno tereftalato [13]-[15]. Los productos obtenidos de la degradación térmica muestran características importantes que deben ser consideradas, como son: alto poder calorífico (40 MJ/kg), densidad y viscosidad similares a los combustibles tradicionales. Autores como Jia H. et. al., [16] han estudiado la adición de catalizadores en el proceso de pirólisis y han observado mejoras en el proceso de degradación. Es por ello que este trabajo tiene como objetivo principal evaluar la degradación térmica-catalítica del polietileno tereftalato en presencia de hidróxido (CaOH₂) de calcio como catalizador tomando en cuenta las eficiencias energéticas del proceso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales

El PET fue recolectado de botellas plásticas de refresco y se cortaron en pequeñas piezas de un aproximado de 2 cm, un reactor prototipo tipo semi-batch de 1 kg de capacidad interconectado a un control de temperatura Figura 1. Analizador de energía marca: "peacefear".

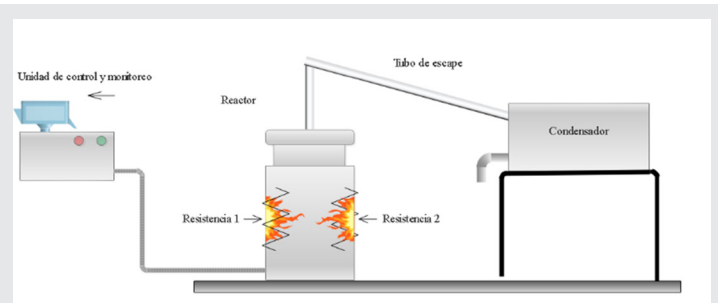


Figura 1.- Esquema experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología experimental y análisis de eficiencias

El procedimiento experimental se realizó con 300 y 400 g de botellas plásticas con una relación de hidróxido de calcio como catalizador con una relación PET/catalizador de 2:1. La degradación térmica-catalítica se realizó de manera escalonada de 300 a 600 °C con incrementos de 50 °C/h Tabla 1.

La eficiencia energética fue evaluada de acuerdo con la ecuación 1 y 2:

$$\frac{dE}{dT} = E_{int} - (E_{liq} + E_{gas} + E_{car}) \quad \text{Ec.1}$$

Donde: E_{int} , es la energía de entrada del PET y la energía demandada por el reactor, E_{liq} , es la energía

contenida en el líquido, E_{gas} , es la energía contenida en los gases no condensables, E_{car} , es la energía contenida en el carbón.

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{int}} \quad \text{Ec.2}$$

Donde: η , es la eficiencia energética del proceso, E_{out} , es la energía de los productos, E_{int} , es la energía de entrada.

Tabla 1.- Diseño experimental.

| Prueba | Masa (g) | Temperatura (°C) |
|--------|----------|------------------|
| PET 41 | 300 | 300-600 |
| PET 42 | 400 | 300-600 |

Fuente: Elaboración propia.

La cuantificación de los productos se realizó mediante diferencia de masas, y fueron separados en líquido, gaseoso y sólido y se calcularon acorde a la ecuación 3:

$$\text{Rendimiento} = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^3 m_i} \cdot 100 \quad \text{Ec.3}$$

Donde m_i es la masa de los productos, el porcentaje de gas fue calculado por diferencia de masas (sólido, líquido), acorde a la ecuación 4.

$$\text{Rendimiento} = 100 - m_l - m_s \quad \text{Ec.4}$$

RESULTADOS

Se obtuvieron diferentes productos de la degradación térmica del polietileno tereftalato (PET), la mayor fracción, aproximadamente de 50%, fue de composición sólida, de acuerdo con Chao Li et al., [17] es un producto compuesto de alquitrán, catalizador, y carbón cuyo poder calorífico se encuentra en el orden de 31 MJ/kg. El rendimiento gaseoso se encontró en aproximadamente 32- 34% cuya composición está basada en gases como el metano, etano, hidrogeno, CO, CO₂ y pueden ser considerados como productos de alto valor agregado con un uso potencial en los productos comerciales [40]. Por último, se obtuvo un producto en estado líquido con un rendimiento aproximado de 15 al 16 %, en el cual se pueden encontrar principalmente productos conocidos como hidrocarburos aromáticos, la composición química principal fueron benceno, estireno, tolueno, los cuales sirven como productos bases para la formulación de compuestos químicos de alto valor comercial o en su mayoría utilizados por la industria petroquímica para la reformulación de gasolinas o aditivos [40] Figura 2.

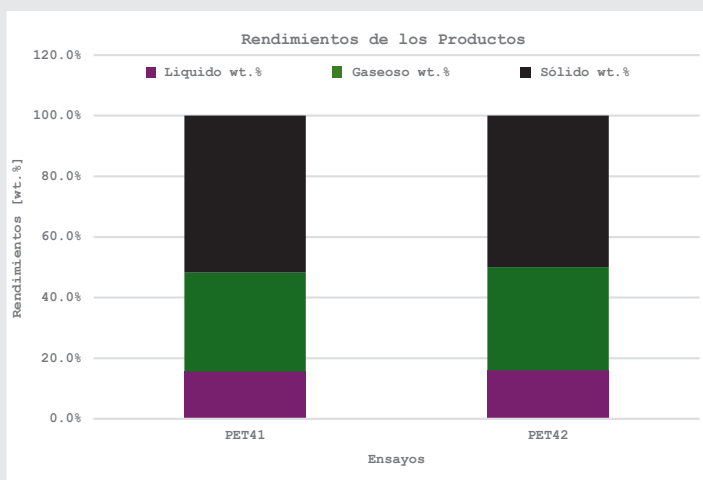


Figura 2.- Rendimientos de los productos.
Fuente: Elaboración propia.

del 60%, se recomienda desarrollar tecnologías que permitan mejorar las eficiencias de los procesos de degradación al igual que el estudio con otros catalizadores a fin de economizar y hacer más eficiente el proceso de degradación.

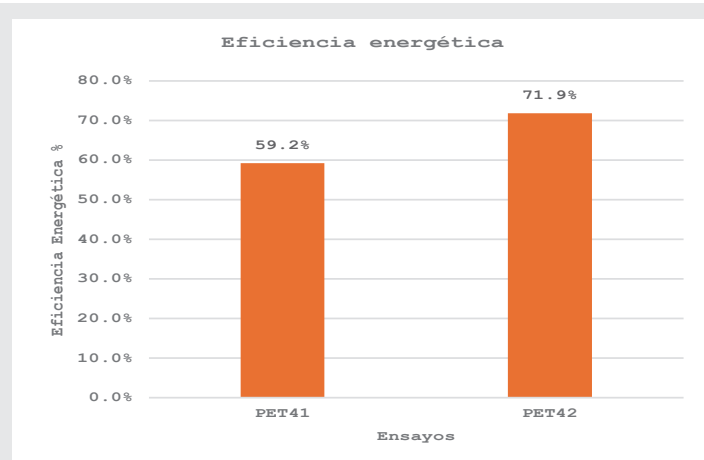


Figura 3.- Eficiencias energéticas del proceso.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2, se muestran las diferencias de rendimientos para cada uno de los productos obtenidos, principalmente las diferencias de cada uno tienen que ver con la estructura polimérica del PET, debido a esta razón la degradación térmica del PET, requiere una alta temperatura. Por otra parte el PET representa la mayor tasa de compuestos volátiles de acuerdo con su análisis proximal [18], por esta razón la mayoría de los productos que pueden ser obtenidos son gases o sólidos. En cuanto a la influencia de la masa, se observaron un pequeño porcentaje superior de gases no condensables, y ligeramente un mayor rendimiento líquido.

Tabla 2.- Rendimientos de productos.

| Prueba | Líquido | Gaseoso | sólido |
|--------|---------|---------|--------|
| PET 41 | 15.6% | 32.7% | 51.8% |
| PET 42 | 16 % | 34 % | 50 % |

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los análisis en las eficiencias energéticas se observó que el proceso fue mas eficiente con una masa de 400 g, ya que, puede obtenerse una mayor cantidad de productos líquidos y gaseosos los cuales contienen poderes caloríficos mayores al igual que un valor comercial superior, por ende, se observa que el sistema es más eficiente con mayores cantidades de masa.

CONCLUSIONES

El reciclaje de PET mediante degradación térmica-catalítica resulta ser un método alternativo viable ambiental, para aquellos residuos que han sido contaminados o que no pueden ser reciclados mediante métodos tradicionales, ya que, a través de su degradación pueden recuperarse productos de alto valor energético cercano a 43 MJ/kg, los rendimientos obtenidos suelen ser elevados y las eficiencias energéticas por arriba

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de este proyecto mediante un programa de beca escolar.

BIBLIOGRAFÍA

[1] F. Calderón Sáenz, "La Producción de Combustibles Vehiculares a partir de Plásticos de Deshecho," pp. 1-226, 2016, [Online]. Available: <http://www.cynarplc.com>.

[2] D. S. Scott, S. R. Czernik, J. Piskorz, and D. S. A. G. Radlein, "Fast Pyrolysis of Plastic Wastes," *Energy and Fuels*, vol. 4, no. 4, pp. 407-411, 1990, doi: 10.1021/ef00022a013.

[3] H. T. Lin, M. S. Huang, J. W. Luo, L. H. Lin, C. M. Lee, and K. L. Ou, "Hydrocarbon fuels produced by catalytic pyrolysis of hospital plastic wastes in a fluidizing cracking process," *Fuel Processing Technology*, vol. 91, no. 11, pp. 1355-1363, 2010, doi: 10.1016/j.fuproc.2010.03.016.

[4] W. L. Yoon, J. S. Park, H. Jung, H. T. Lee, and D. K. Lee, "Optimization of pyrolytic coprocessing of waste plastics and waste motor oil into fuel oils using statistical pentagonal experimental design," *Fuel*, vol. 78, no. 7, pp. 809-813, 1999, doi: 10.1016/S0016-2361(98)00207-5.

[5] A. A. Garforth, Y. H. Lin, P. N. Sharratt, and J. Dwyer, "Production of hydrocarbons by catalytic degradation of high density polyethylene in a laboratory fluidised-bed reactor," *Applied Catalysis A:*

General, vol. 169, no. 2, pp. 331–342, 1998, doi: 10.1016/S0926-860X(98)00022-2.

[6] G. Elordi et al., “Catalytic pyrolysis of HDPE in continuous mode over zeolite catalysts in a conical spouted bed reactor,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 85, no. 1–2, pp. 345–351, 2009, doi: 10.1016/j.jaap.2008.10.015.

[7] S. C. Cardona and A. Corma, “Tertiary recycling of polypropylene by catalytic cracking in a semibatch stirred reactor. Use of spent equilibrium FCC commercial catalyst,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 25, no. 2–3, pp. 151–162, 2000, doi: 10.1016/S0926-3373(99)00127-7.

[8] S. S. Kim and S. Kim, “Pyrolysis characteristics of polystyrene and polypropylene in a stirred batch reactor,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 98, no. 1–2, pp. 53–60, 2004, doi: 10.1016/S1385-8947(03)00184-0.

[9] M. F. Ali, S. Ahmed, and M. S. Qureshi, “Catalytic coprocessing of coal and petroleum residues with waste plastics to produce transportation fuels,” *Fuel Processing Technology*, vol. 92, no. 5, pp. 1109–1120, 2011, doi: 10.1016/j.fuproc.2011.01.006.

[10] N. Miskolczi, A. Angyal, L. Bartha, and I. Valkai, “Fuels by pyrolysis of waste plastics from agricultural and packaging sectors in a pilot scale reactor,” *Fuel Processing Technology*, vol. 90, no. 7–8, pp. 1032–1040, 2009, doi: 10.1016/j.fuproc.2009.04.019.

[11] M. N. Islam, M. N. Islam, and M. R. A. Beg, “The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh,” *Bioresource Technology*, vol. 92, no. 2, pp. 181–186, 2004, doi: 10.1016/j.biortech.2003.08.009.

[12] S. Ucar, S. Karagoz, A. R. Ozkan, and J. Yanik, “Evaluation of two different scrap tires as hydrocarbon source by pyrolysis,” *Fuel*, vol. 84, no. 14–15, pp. 1884–1892, 2005, doi: 10.1016/j.fuel.2005.04.002.

[13] M. Engineering, “Thermal and kinetic behaviors of biomass and plastic wastes in co-pyrolysis,” vol. 75, pp. 263–270, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.06.036.

[14] N. Usman and M. I. M. Masirin, *Performance of asphalt concrete with plastic fibres*. Elsevier Ltd, 2019.

[15] S. V. S. G. N. J. V. L. P. R. G. K. R. A. K. Kelkar, “Degradation and Recyclability of Poly(Ethylene Terephthalate),” in *Intech*, 2012, p. 13.

[16] T. Pet and N. Chloride, “Catalytic Fast Pyrolysis of Poly (Ethylene Terephthalate) (PET) with Zeolite and Nickel Chloride,” 2020.

[17] C. Li, F. Ataei, F. Atashi, X. Hu, and M. Gholizadeh, “Catalytic pyrolysis of polyethylene terephthalate over zeolite catalyst: Characteristics of coke and the products,” *International Journal of Energy Research*, vol. 45, no. 13, pp. 19028–19042, 2021, doi: 10.1002/er.7078.

[18] J. M. Heikkinen, J. C. Hordijk, W. De Jong, and H. Spliethoff, “Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 71, no. 2, pp. 883–900, Jun. 2004, doi: 10.1016/J.JAAP.2003.12.001.





Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Exploración geoeléctrica para la caracterización de grietas y socavones asociados a la subsidencia y su relación con el manejo del recurso hídrico en Ciudad Guzmán Jalisco



Colaboración

Alan Méndez-Martínez; Claudia Zapién Arroyo; Fatima Ezzahra Housni, Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 05 de junio de 2024

RESUMEN: Los fenómenos asociados a la subsidencia, son un tema de gran importancia en México y en muchos casos están relacionados con problemas hídricos. En el sur de Jalisco, estos eventos están apareciendo y aumentando con el paso del tiempo. En el municipio de Zapotlán El Grande existen varias zonas afectadas, así como también el aumento de los factores que llevan a los problemas relacionados con el agua, ya que el acuífero del que se abastece el municipio actualmente se encuentra sobreexplotado. Por lo anterior es que en este proyecto se plantea que los riesgos geológicos asociados a la subsidencia tienen relación con el recurso hídrico en Ciudad Guzmán y para dar respuesta se llevó a cabo un estudio de exploración geoeléctrica mediante el uso de la tomografía de resistividad eléctrica en el fraccionamiento “La primavera”.

PALABRAS CLAVE: subsidencia, exploración geoeléctrica, riesgos geológicos, syscal pro.

ABSTRACT: The phenomena associated with subsidence are a critical issue in Mexico and, in many cases, are related to water problems. In the south of Jalisco, these events appear and increase with time. In the municipality of Zapotlán El Grande, there are several affected areas and increasing factors that cause water-related problems since the aquifer from which the municipality is supplied is currently overexploited. Therefore, this project proposes that the geological risks associated with subsidence are related to the water resource in Ciudad Guzmán, and to provide an answer, a geoelectric exploration study was carried out using electrical resistivity tomography in the “La primavera” colony.

KEYWORDS: Subsidence, geoelectric exploration, geological risks, syscal pro.

INTRODUCCIÓN

La subsidencia de terreno se expresa como un hundimiento diferencial que se puede asociar a sobreexplotación de acuíferos [1, 2, 3] y que tiene una velocidad que varía desde algunos milímetros a centímetros por año [4]. El hundimiento repentino de la superficie de la tierra es debido al movimiento subterráneo de los materiales terrestres, y se le puede atribuir sobre todo por la retirada de fluidos. Los espacios microscópicos de los poros del subsuelo están llenos de moléculas de agua que conforman una presión hidrostática, cuando las moléculas de agua se extraen a través de un pozo tubular, se forma un vacío y la presión hidrostática disminuye en el vacío, por lo que el espacio de los poros se colapsa y todo el terreno se hunde [5].

El fenómeno de subsidencia incluye tanto el descenso suave como el hundimiento repentino de segmentos de la superficie del suelo. El desplazamiento es principalmente hacia abajo, aunque la deformación horizontal asociada suele tener efectos perjudiciales importantes. Por lo tanto, la extracción de agua subterránea desempeña un papel directo en el hundimiento del terreno al provocar la compactación de los sistemas acuíferos susceptibles [6, 7, 8].

El hundimiento y agrietamiento del terreno es un problema geológico-geotécnico que, a nivel mundial, ha llamado la atención de especialistas, investigadores, urbanistas, constructores, medios de comunicación y gobiernos [9] a causa de los cuantiosos y recurrentes daños que ocasionan en los sectores de vivienda, carreteras, vías férreas, líneas de comunicación y conducción, instalaciones industriales y en obras de ingeniería. Este fenómeno está presente en varias regiones del mundo y por lo general se asocia a problemas hidrogeológicos.

En el contexto nacional, México cuenta con una superficie de 1,964,375 km² de los cuales 1,042,369.56 km² (53.06%) de la superficie presenta afectaciones por hundimiento y agrietamiento muy bajas, 149,523.92 km² (7.61%) presenta afectaciones bajas, 632,156.87 km² (32.18%) presenta una afectación media, 122,045.05 km² (6.21%) afectaciones altas, así como 18,279.57 km² (0.96%) presentan afectaciones en el rango de muy alto. Las tasas de hundimiento son variables debido a que están controladas por el espesor y las características geomecánicas de los sedimentos. Así mismo, la intensidad de las tasas de extracción de agua subterránea y la recarga del acuífero juegan un papel crucial en su evolución, control y minimización de riesgo [5].

El abastecimiento de agua en México para uso urbano, agrícola e industrial proviene en buena medida de la extracción de agua subterránea. Uno de los efectos colaterales de una inadecuada administración de los acuíferos es una extracción que sobrepasa la recarga natural de agua, ocasionando la sobreexplotación del sistema acuífero. Si se combina un acuífero sobreexplotado con un medio geológico compresible se propicia la compactación del terreno y en ciertos casos la subsidencia del terreno [9].

Para el 2021, este fenómeno continúa apareciendo frecuentemente en el municipio de Zapotlán el Grande. No hay todavía investigaciones actuales que permitan actualizar el estado de riesgo de la zona. Algunos autores relacionan la aparición de los agrietamientos con causas geológicas, otros con causas hidrogeológicas. Sin embargo, independientemente cual es la causa es importante delimitar estas grietas y hundimientos, así como conocer su profundidad para mitigar su riesgo.

Cabe mencionar que el municipio de Zapotlán el Grande se abastece del acuífero Ciudad Guzmán (1406), lo

calizado al sur del estado de Jalisco. El acuífero Ciudad Guzmán cuenta con una superficie de 4,308 km², de la cual 1,749 km² corresponden al área de la Subcuenca y 1,230 Km² al área de explotación. Pertenece a la Región Hidrológica No. 12 “Lerma-Santiago”, que se localiza dentro de la Cuenca Lago de Chapala, Subcuenca Laguna de Zapotlán [10].

A continuación, se muestra un balance de las aguas del acuífero Ciudad Guzmán:

Tabla 1. Balance de aguas subterráneas del acuífero Ciudad Guzmán (1406) (modificado de CONAGUA, 2020).

| | |
|---|---------------------------------|
| Área total del acuífero | 4308 km ² |
| Área del valle | 1230 km ² |
| Precipitación | 910.80 mm/año |
| Evapotranspiración | 144.4 hm ³ /año |
| Volumen extraído total del acuífero (Bombeo) | 105.6 hm ³ /año |
| Descarga natural (Manantiales) | 16 hm ³ /año |
| Volumen de extracción de aguas subterráneas | 276,388,970 m ³ /año |
| Recarga total media anual | 266.1 hm ³ /año |
| Disponibilidad media anual | -26.288970 hm ³ /año |

Fuente: Elaboración propia.

Observando el balance del acuífero, en el apartado de Disponibilidad media anual; nos indica que no existe volumen disponible para otorgar nuevas extracciones, ya que se encuentra sobreexplotado de su capacidad. Por el contrario, encontramos que el acuífero tiene un déficit de 26,288,970 m³ anuales que se están extrayendo a causa del almacenamiento no renovable del acuífero [10]. En consecuencia, creemos que esto podría ser un serio influyente en los fenómenos que se han venido presentando en la zona.

La tomografía eléctrica emplea los valores de resistividad aparente medidos con los dispositivos geoeléctricos sobre la superficie del terreno, para generar imágenes del subsuelo donde se representan los valores de la resistividad verdadera de las diferentes zonas del subsuelo. La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera es una relación compleja. Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica la técnica de la “inversión” [12].

Por ello, el objetivo de este trabajo es caracterizar las grietas y los hundimientos presentes en Ciudad Guzmán.

mán e identificar su relación con la extracción de los recursos hídricos del acuífero 1406. Como objetivos específicos primero se localizar geográficamente las grietas y/o hundimientos visibles en la ciudad. Lo segundo es realizar mediciones geoelectricas en puntos estratégicos con los arreglos Wenner y Dipolo-Dipolo, y finalmente se analizaron e interpretaron los datos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un trabajo de campo en el cual se ubicaron y georreferenciaron las grietas y hundimientos más visibles y/o conocidos en la ciudad mediante el programa ArcGIS 12.0. con el mapeo mediante imágenes satelitales y Modelo Digital de Elevación DEM.

Para la prospección, se utilizó la técnica de tomografía eléctrica con los arreglos Wenner y Dipolo-Dipolo. En esta etapa se seleccionaron puntos estratégicos para realizar los perfiles. Se eligió el fraccionamiento La Primavera dado que es una de las zonas, que actualmente, se encuentra con fuertemente afectaciones de agrietamientos en las viviendas.

Como material para prospección, se utilizó El resistivímetro Syscal pro de 24 electrodos de la empresa IRIS Instruments Figura1. Es un sistema de resistividad multínodo e induce polarización, sondeo y perfilado, reúne un receptor de 10 canales y un transmisor interno de 250 W. Con un voltaje de salida máximo de 2,000 Vpp.

Para el trabajo de campo, configuró el Syscal Pro una separación entre los electrodos de 10 metros y 5 metros, con la idea de llegar a una profundidad aproximada de 50 metros.



Figura 1. Instrumento Syscal Pro de 24 electrodos. IRIS Instruments.

Fuente: Elaboración propia.

Junto con el Syscal Pro, también se hizo uso de sus accesorios:

- Cables Inteligentes: Utilizados para conectar los transmisores y receptores a los electrodos, son cables re-

forzados con su específico carrete, cuenta con cables inteligentes, por lo que estos cables se conectan a los electrodos y el equipo manda corriente solo a ciertos electrodos. No hay la necesidad de mover constantemente el dispositivo electrónico.

- Clip de cable: Utilizado para unir la toma del cable a los electrodos.
- Electrodo: Hechos de acero inoxidable y con una longitud de 33 cm.
- Cables para batería: Cable con pinzas para la batería externa

Así como también es necesario el uso de herramientas externas al equipo, entre estas herramientas estarán: martillos y mazos, cinta métrica, pinzas de presión, pinzas de mecánico, una Laptop y una memoria USB.

La adquisición de datos se realizó mediante el software PROSYS II, ya que permite transferir, editar, procesar y exportar los datos de resistividad y de cargabilidad de los resistivímetros de IRIS Instruments (SYSCAL), mientras que la descarga de datos se realizó mediante un enlace USB [13]. Para analizar los datos se usó el programa RES2DINV, el cual determina automáticamente un modelo de resistividad de dos dimensiones (2-D) para el subsuelo con los datos obtenidos [14].

RESULTADOS

Zona de estudio

El municipio de Zapotlán el Grande colinda al norte con los municipios de Sayula, Gómez Farías y Tamazula de Gordiano; al este con los municipios de Tamazula de Gordiano y Zapotiltic; al sur con los municipios de Zapotiltic, Tuxpan y San Gabriel; al oeste con los municipios de San Gabriel y Sayula. Se encuentra ubicado entre los paralelos 19°36' y 19°48' de latitud norte; los meridianos 103°24' y 103°38' de longitud oeste; altitud entre 1 500 y 2600 metros [15].

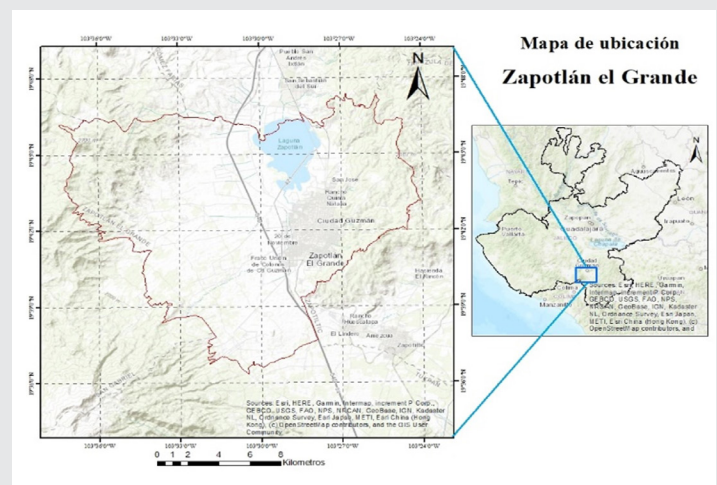


Figura 2. Mapa de localización municipio Zapotlán el Grande. Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Descripción Geológica

Ciudad Guzmán se localiza en la provincia del Eje Neovolcánico, al sur del estado de Jalisco en la subprovincia de Chapala [15]. De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano y el INEGI, la ciudad está asentada sobre depósitos aluviales del Cuaternario que rellenaron, a lo largo de milenios, que algunos han denominado como graben de Ciudad Guzmán [15]. Dicho graben obedece al hundimiento general o diferencial de los bloques que constituyen y dan forma al basamento sobre el cual descansan los depósitos de suelo de Ciudad Guzmán; cuyos espesores para esta zona, se han estimado entre 300 y 2,000 metros [16]. Un estudio realizado por la Universidad de Guadalajara en 1995 denomina a los depósitos de suelo de Ciudad Guzmán como depósitos “volcanoclasticos débilmente litificados” cuyos componentes (arenas, limos, arcillas y gravas) son producto de la erosión y destrucción de las rocas volcánicas circundantes que al ser arrastradas por el agua y el viento se depositaron en las planicies donde se asientan Sayula y Ciudad Guzmán [15].

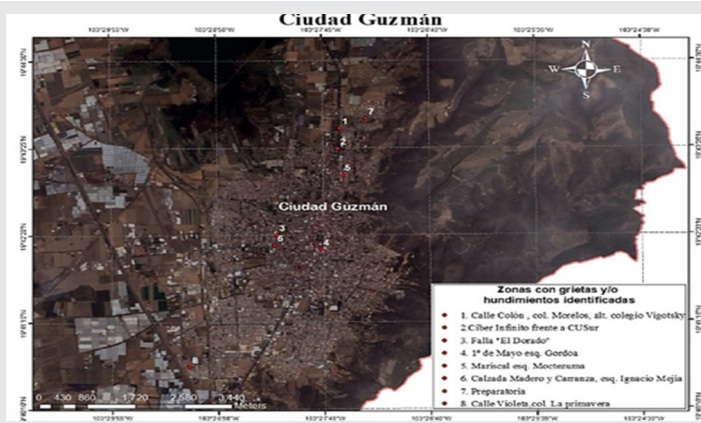


Figura 3. Mapa con imagen satelital Landsat 8 y DEM con la ubicación geográfica de los puntos con grietas y/o hundimientos localizados. Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la imagen satelital fue obtenida del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS. Fuente: Elaboración propia.

Mapeo mediante imagen satelital y DEM

El levantamiento de los datos se llevó a cabo sobre 3 calles, la calle Violeta correspondiente a la línea 1, la calle Petunias correspondiente a la línea 2, y la calle Lavandas correspondiente a la línea 3.



Figura 4. Líneas del levantamiento en las calles del fraccionamiento La Primavera, modificado de Google Earth Pro. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los perfiles 2D con datos finales y con inversión. La descripción de los datos de resistividades se realizó por cada perfil y la interpretación se realizó de manera horizontal y vertical.

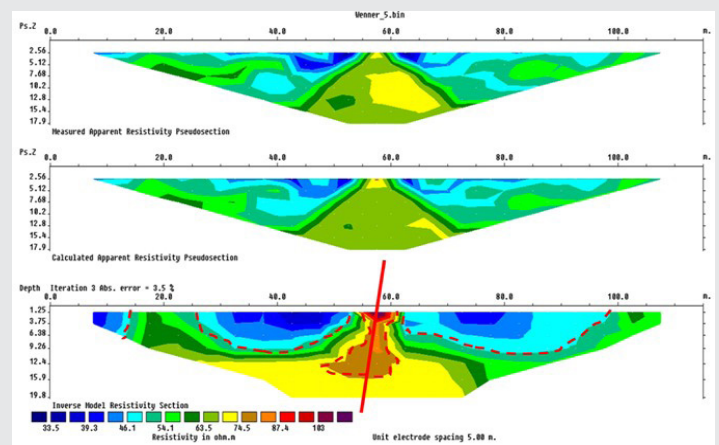


Figura 5. Perfil de línea 1, separación de 5 metros con arreglo Wenner sobre la calle: Violeta. Fuente: Elaboración propia.

El modelo de resistividad de la sección Figura 5 muestra fuertes contrastes en resistividad eléctrica con la presencia de varios niveles eléctricamente diferenciados. En efecto; la interpretación de estos datos conduce a un modelo de resistividad intrínseco formado por dos terrenos:

Una tierra de superficie conductora (menos de 40 Ohm·m) correspondiente a las tierras de la cubierta; este terreno presenta un aspecto discontinuo por el levantamiento de una masa resistente profunda a favor de una falla central.

Un segundo suelo mediante resistencia profunda hasta 20 m de profundidad (65-80 Ohm·m) correspondiente a los suelos sedimentarios.

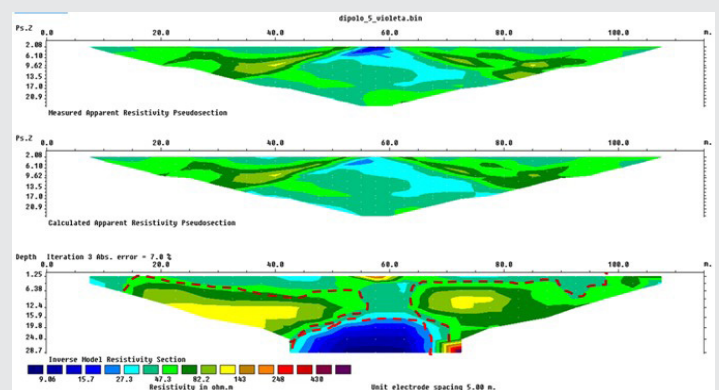


Figura 6. Perfil de línea 1, separación de 5 metros con arreglo Dipolo-Dipolo sobre la calle: Violeta. Fuente: Elaboración propia.

El modelo de resistividad de la sección Figura 6 muestra varios niveles eléctricamente diferenciados pero discontinuos y confirma que la región ha sufrido tectónica de distensión. Sin embargo, los valores registrados en esta sección son mucho más bajos que los de

las secciones anteriores como lo muestra el modelo de resistividad eléctrica. Se puede observar un bloque muy conductor probablemente correspondiente a una masa de arcilla que ocupa la parte central y profunda del perfil, seguido de un nivel discontinuo y dislocado de resistividad eléctrica media.

El modelo eléctrico Figura 7 correspondiente a este apartado tiene un aspecto similar al anterior. Se trata de un único bloque monótono más resistente que el anterior y presentando zonas o masas más resistentes y discontinuas a distintas profundidades. Esta es una sección transversal típica de un modelo monótono con la presencia de discontinuidades más resistentes.

La interpretación de estos datos conduce a un modelo de resistividad intrínseco formado por dos terrenos:

- I. Un suelo superficial moderadamente resistente (40-60 Ohm·m) correspondiente a los terrenos de cobertura;
- II. Una segunda tierra conductora profunda (12-30 Ohm·m) correspondiente al nivel de arcilla ya identificado anteriormente.

Una tierra intermedia resistente que tiene una resistividad de 115 Ohm·m) asignada lechos discontinuos o heterogeneidades aluviales; un suelo profundo relativamente resistente (más de 350 Ohm·m).

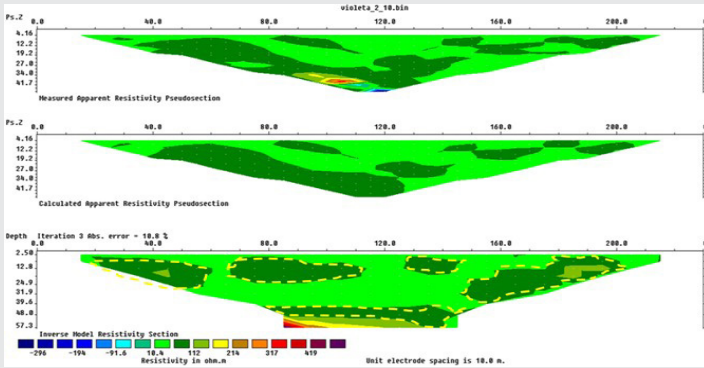


Figura 7. Perfil de línea 1, separación de 10 metros con arreglo Dipolo-Dipolo sobre la calle: Violeta.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo eléctrico Figura 7 correspondiente a este apartado tiene un aspecto similar al anterior. Se trata de un único bloque monótono más resistente que el anterior y presentando zonas o masas más resistentes y discontinuas a distintas profundidades. Esta es una sección transversal típica de un modelo monótono con la presencia de discontinuidades más resistentes. La interpretación de los datos registrados en esta sección resultó en un modelo geoelectrico formado por los siguientes tres niveles:

Una carcasa conductora cuya resistividad varía de 15 a 50 Ohm·m correspondiente a las facies dominantes del área de estudio.

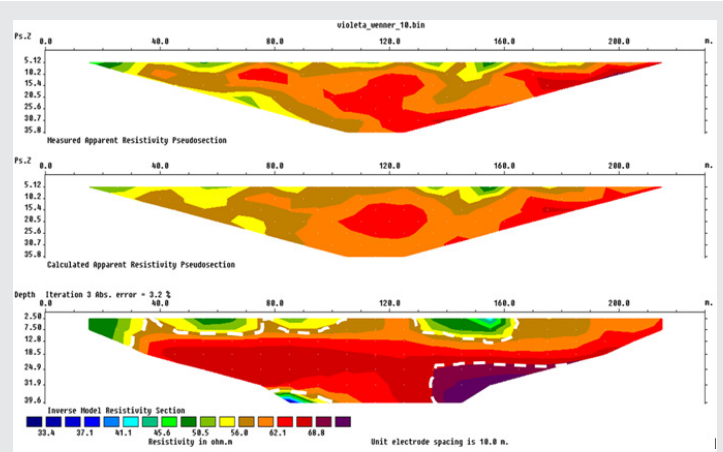


Figura 8. Perfil de línea 1, separación de 10 metros con arreglo Wenner sobre la calle: Violeta.
Fuente: Elaboración propia.

Esta sección muestra en el modelo de resistividad (Figura 8) un terreno exclusivamente resistente probablemente correspondiente al basamento geológico de la región. Se identificaron bolsas de relleno posteriores en la superficie. Es evidente que se trata de depósitos aluviales que ocupan depresiones resultantes de la erosión del subsuelo.

El modelo no presenta discontinuidad litológica como fallas, fisuras o fracturas; sin embargo, la geometría de la tierra presente muestra que la región ha sufrido los efectos de la tectónica compresiva seguida de una erosión intensiva.

El mapeo de cuerpos subterráneos requiere una mayor investigación con un espaciado entre electrodos más estrecho para comprender mejor la geometría de estos cuerpos y su extensión lateral. Mediante una malla fina, también se pueden comprender los diferentes tipos de contactos entre las masas subterráneas y su extensión en profundidad.

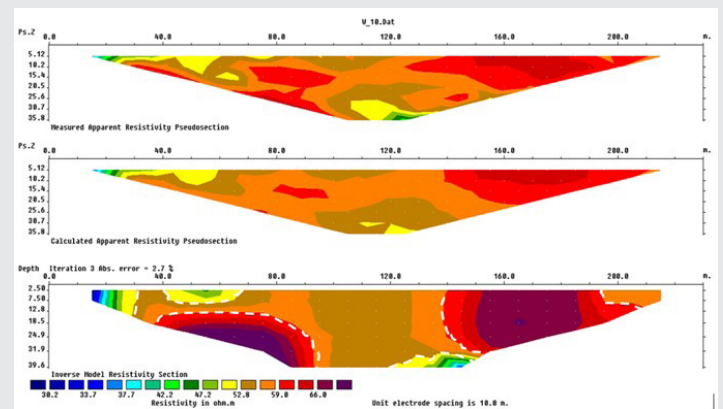


Figura 9. Perfil de línea 2, separación de 10 metros con arreglo Wenner sobre la calle: Petunias
Fuente: Elaboración propia.

En esta sección Figura 9 se muestra una base de tierra fuertemente fragmentada por la tectónica frágil. Esta

tectónica provocó una dislocación del macizo rocoso con una liberación significativa superior a 50 m. Esta base tiene forma de bloque parcialmente resistente en la superficie. Por encima de esta masa resistente, se observa una cubierta de suelo moderadamente resistente entrecruzado por algunas depresiones conductoras.

Parece claramente que el área en cuestión ha sufrido una tectónica significativa, revelando un paseo de corte entre las masas resistentes. Posteriormente, este corredor se rellenó con materiales menos resistentes hasta profundidades superiores a los 25 m.

En la parte inferior de la serie, hay un terreno conductor visto en las secciones anteriores a una profundidad de aproximadamente 22 m. La profundidad de investigación que marca la longitud del perfil no permite seguir la extensión en profundidad de esta última formación.

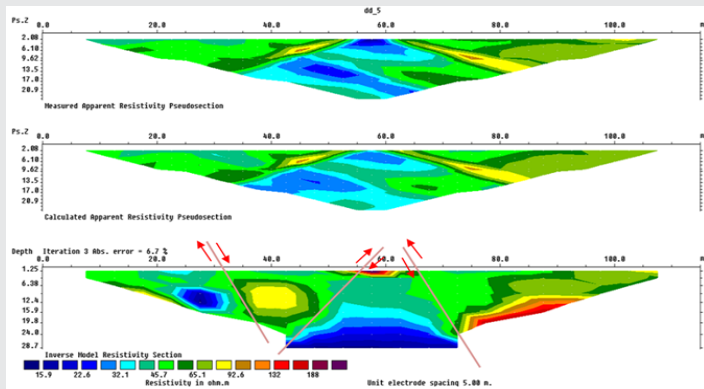


Figura 10. Perfil de línea 2, separación de 5 metros con arreglo Dipolo-Dipolo sobre la calle: Petunias. Fuente: Elaboración propia.

El modelo de resistividad de la sección Figura 10 dd_5 muestra un terreno fuertemente tectonizado y defectuoso. Varias unidades se han individualizado como bloques separados de diferentes resistividades.

La base de la serie está formada por suelos arcillosos o arcillosos limosos con resistividad menor a 30 Ohm.m. En la parte superior se encuentra un material moderadamente resistente pero muy heterogéneo. También se observaron fragmentos de arcilla en el modelo de resistividad.

La base resistente aparece en la profundidad, pero dislocada por el sistema de fallas que afecta a la serie.

Aquí de nuevo en esta sección; se nota una erosión intensa que conduce a una penetración del terreno prospectado.

Esta sección Figura 11 muestra en el modelo de resistividad un terreno exclusivamente resistente probablemente correspondiente al basamento geológico de la región. Aparecen bolsas conductoras muy localizadas

en la base. Probablemente sea una cavidad llena de arcilla o agua; los valores de la resistividad eléctrica no superan los 20 Ohm.m. Parece claro que se trata de una base fuerte formada por rocas endógenas con una inclinación de unos 45°.

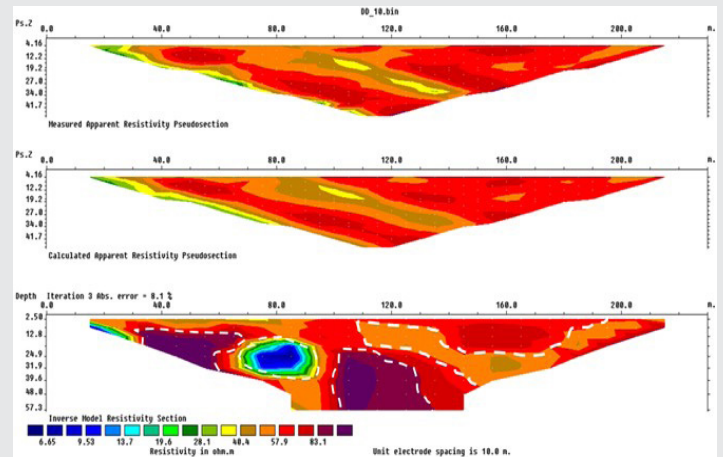


Figura 11. Perfil de línea 2, separación de 10 metros con arreglo Dipolo-Dipolo sobre la calle: Petunias. Fuente: Elaboración propia.

El modelo no presenta discontinuidad litológica como fallas, fisuras o fracturas; sin embargo, la presencia de anomalías conductoras dentro del macizo rocoso aboga a favor de fenómenos de disolución o des carbonatación. En efecto; la forma ovoide de la estructura y la naturaleza altamente conductora de su respuesta geofísica argumentan a favor de un vacío subterráneo con posterior relleno de arcilla o agua.

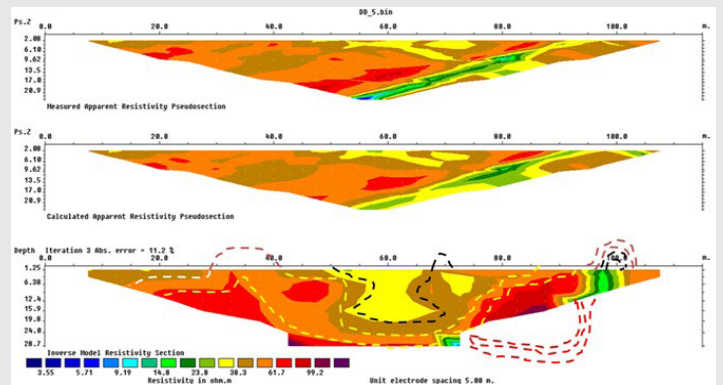


Figura 12. Perfil de línea 3, separación de 5 metros con arreglo Dipolo-Dipolo sobre la calle: Lavanda. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de esta sección de resistividad Figura 12 muestra la presencia de tres bloques de resistividad que forman una estructura sinclinal:

Un primer grupo que constituye un bloque de la región cuya resistividad supera los 60 Ohm*m. Sin duda, este bloque sufrió una fuerte compresión que dio lugar a la formación de una fosa sinclinal con una profundidad media de unos 25 m. este pozo se rellenó con materiales posteriores.

Un segundo grupo en forma de capa subsuperficial fuertemente plegada y erosionada, cuya resistividad varía entre 40 y 60 Ohm·m.

Un tercer grupo que constituye un material de relleno que está en el centro del sinclinal con una resistividad eléctrica entre 30 y 40 Ohm·m.

Al final de la sección; se puede observar claramente que la compresión condujo a un aumento de materiales conductores con resistividad menor a 20 Ohm·m. Se ha observado una erosión generalizada en el subsuelo que conduce a una yuxtaposición de las facies mencionadas anteriormente.

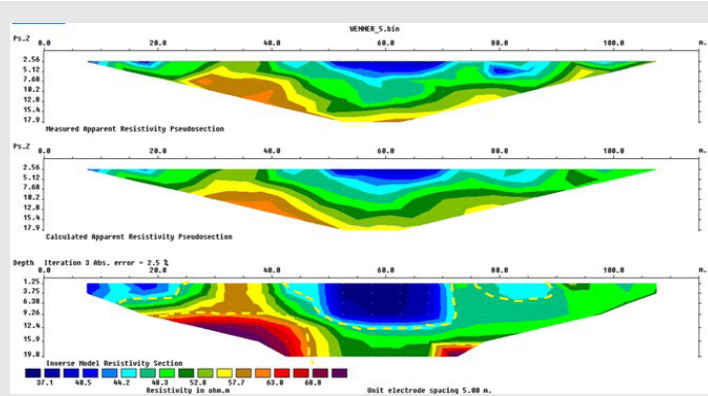


Figura 13. Perfil de línea 3, separación de 5 metros con arreglo Wenner sobre la calle: Lavanda.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo eléctrico de esta sección (Figura 13) tiene un aspecto similar al anterior de la línea 1 con separación de 5 metros con arreglo Wenner en la calle Violeta. Ésta es una curva típica de una superposición de tres pistas. La interpretación de los datos registrados resultó en un modelo geoeléctrico formado por las siguientes tres capas: Un suelo resistente C1 profundo (más de 63 Ohm·m) correspondiente a la base resistente del área de estudio; un suelo intermedio resistente R1 con una resistividad de aproximadamente 55 Ohm·m atribuida a rocas sedimentarias dislocadas por tectónica frágil; una superficie C2 relativamente conductora (menos de 42 Ohm·m).

La misma observación confirma en esta sección el aspecto discontinuo de las masas conductoras y confirma que la región ha sufrido tectónica de distensión. Sin embargo, los valores registrados en esta sección son mucho más bajos que los de las secciones anteriores. Observamos así un bloque muy conductor probablemente correspondiente a una masa de arcilla que ocupa la parte central y profunda del perfil seguido de un nivel discontinuo y dislocado de resistividad eléctrica media.

CONCLUSIONES

Los resultados de la resistividad eléctrica y los modelos realizados en la zona de estudio demuestran que el tipo de suelo es de origen lacustre con depósitos

aluviales. Este tipo de suelo es muy susceptible a fenómenos con la subsidencia. Según CENAPRED (2014) la subsidencia se presenta más comúnmente en suelos de origen lacustre y en depósitos aluviales y fluviales, constituidos por partículas finas de suelo como arcillas, limos y arenas finas [17]. Estos coinciden con el tipo de suelo de Ciudad Guzmán. Es bien sabido que son varias las causas que pueden provocar la deformación por subsidencia del terreno [18, 19]. Sin embargo, el proceso que más influye es el hundimiento por extracción de agua [20]. No obstante, en perfil número 5 se detectó una falla profunda que puede ser la causa agravante de la zona de estudio. Ciudad Guzmán es una zona activa desde el punto de vista sísmico [21]. Cabe mencionar que ya existen trabajos realizados por el CENAPRED en Ciudad Guzmán con el tema de las afectaciones por hundimientos y agrietamientos y acorde con este, estimaron que estos daños han estado presentes desde más de 30 años afectando a decenas o cientos de viviendas, así como a obras de infraestructura, caminos, carreteras y banquetas. De los daños que aparentemente son nuevos en la zona de estudio, se concluye que también se deben al fenómeno de subsidencia, y estos se pueden estar generando y acelerando por la presente y continua sobreexplotación del acuífero.

Estos resultados esperamos que sean de gran utilidad para protección civil del estado, así como la municipal para que creen estrategias que ayuden a mitigar los riesgos, pero sobre todo es para la comunidad, que en general son los que están más afectados con estas apariciones. Además, se sugiere que lo prudente es llevar a cabo monitoreos periódicos de este tipo de construcciones a fin de poder usar sus indicios estructurales como alerta temprana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Loupasakis, C.; Rozos, D. (2009). *Finite-element simulation of land subsidence induced by water pumping in Kalochori village, Greece*. Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol., 42, 369-382.
- [2] Raspini, F.; Loupasakis, C.; Rozos, D.; Adam, N.; Moretti, S. (2014). *Ground subsidence phenomena in the Delta municipality region (Northern Greece): Geotechnical modeling and validation with Persistent Scatterer Interferometry*. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 28, 78-89.
- [3] Iliá, I.; Loupasakis, C.; Tsangaratos, P. (2016). *Assesing ground subsidence phenomena with Persistent Scatterer Interferometry data in Western Thessaly, Greece*. In *Proceedings of the 14th International Congress of the Geological Society of Greece, Thessaloniki, Greece*, 25-2.
- [4] Rodríguez-Castillo, R., & Rodríguez-Velázquez, I. (2007). *Consecuencias sociales de un desastre inducido, subsidencia*. Septiembre, 2021, de Bole-

fín de la Sociedad Geológica Mexicana Sitio web: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2006v58n2a10>.

[5] Kakar, N., Kakar, D. M., and Barrech, S. (2020): Land subsidence caused by groundwater exploitation in Quetta and surrounding region, Pakistan, Proc. IAHS, 382, 595-607, <https://doi.org/10.5194/piahs-382-595-2020>.

[6] CENAPRED. (2019). Estimación del hundimiento diferencial del terreno utilizando la técnica double-pass para la grid en la ciudad de México. Octubre, 2021, de Centro Nacional De Prevención De Desastres Sitio web: https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2020/1er_Trimestre/FRACCION_XLI/DSyPG/2019_Estimacion_del_hundimiento_diferencial_del_terreno_utilizando.pdf.

[7] Galloway, D.L.; Burbey, T.J. (2011) Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeol. J*, 19, 1459-1486.

[8] Tsangaratos, P.; Iliá, I.; Loupasakis, C. Land subsidence modelling using data mining techniques. The case study of Western Thessaly, Greece. In *Natural Hazards GIS-Based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques*; Pourghasemi, H.P., Rossi, M., Eds.; Springer Nature Switzerland AG: Cham, Switzerland, 2019; pp. 79-103.

[9] Hu, R.; Yue, Z.; Wang, L.u.; Wang, S. Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Eng. Geol.* 2004, 76, 65-77. [Google Scholar] [CrossRef].

[10] CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero ciudad guzmán (1406), estado de jalisco. Septiembre, 2021, de Comisión Nacional del Agua sitio.web:https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/jalisco/DR_1406.pdf.

[11] Cardi. (2019). Subsistencia urbana. Agosto, 2021, de Instituto de Geofísica, UNAM. Sitio web: <http://cardi.geofisica.unam.mx/subsistencia/styled-7/index.html>.

[12] Arlandí, M. (2007). Geofísica Aplicada a la Obra Civil. Método Geoeléctrico y Sísmica de Refracción. Septiembre 17, 2021, de Geoconsult Ingenieros Consultores. Sitio web: <http://www.lapisspecularis.org/Art%C3%ADculos/geofisicaObraCivil.pdf>.

[13] IRIS Instruments. (2021). Software de procesamiento Resistividad, software de polarización inducida. ProsysII. Septiembre 26, 2021, de IRIS Instrument Sitio web: http://www.iris-instruments.com/Pdf_file/Prosys_Gb.pdf.

[14] Geotomo Software. (2010). RES2DINV. 3.59. septiembre 26, 2021, de Geotomo Software Sitio web: <https://pdfcoffee.com/res2dinv-2enes-1-traducido-pdf-free.html>.

[15] CENAPRED. (2013). Visita técnica al municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, para revisar los daños producidos por los agrietamientos y hundimientos que afectan a decenas de viviendas y obras de infraestructura de ciudad guzmán. Agosto, 2021, de Centro Nacional de Prevención de Desastres Sitio web: https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/PAT/2018/3er%20trimestre%202018/2832%20DI/12973/07%20Julio/Docs%20Probatorios/Notas%20t%C3%A9cnicas/4.-%20Inf%20Cd%20Guzman%20Grietas%20Agosto_2013%20vFinal%20Rev.pdf.

[16] Alencáster, G; Jerjes Pantoja, J, (1986). AlorCoalcomána ramosa (Boehm) (Bivalvia-hippuritacea) del Albiano Temprano del Cerro de Tuxpan, Jalisco. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Tomo XLVII. No. 1. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1986v47n1a3>.

[17] Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2014). "Informe Global Hundimiento Regional y Agrietamiento del Terreno". Secretaría de Gobernación.

[18] Feng, Q.-Y.; Liu, G.-J.; Meng, L.; Fu, E.-J.; Zhang, H.-R.; Zhang, K.-F. (2008). Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction and Building Damage Level Assessment—A Case Study of Datun, China. *J. China Univ. Min. Technol.* 18, 556-560.

[19] Awasthi, S.; Varade, D.; Bhattacharjee, S.; Singh, H.; Shahab, S.; Jain, K. (2022). Assessment of Land Deformation and the Associated Causes along a Rapidly Developing Himalayan Foothill Region Using Multi-Temporal Sentinel-1 SAR Datasets. *Land*, 11,2009. <https://doi.org/10.3390/land11112009>.

[20] Chaussard E, Havazli E, Fattahi H, Cabral-Cano E, Solano-Rojas D (2021) Over a century of sinking in Mexico City: no hope for significant elevation and storage capacity recovery. *J Geophys Res Solid Earth* 126(4):1-18. <https://doi.org/10.1029/2020JB020648>.

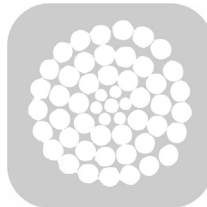
[21] Brunori, C.A.; Bignami, C.; Albano, M.; Zucca, F.; Samsonov, S.; Groppelli, G.; Norini, G.; Saroli, M.; Stramondo, S. (2015). Land subsidence, Ground Fissures and Buried Faults: InSAR Monitoring of Ciudad Guzmán (Jalisco, Mexico). *Remote Sens.* 2015, 7, 8610-8630. <https://doi.org/10.3390/rs70708610>.



Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Desarrollo de pruebas de comportamiento en cables ACSR / AS



Colaboración

Julio César Méndez Gutiérrez; Miguel Ángel Esquivel Sánchez; Fernando Jurado Pérez, Tecnológico Nacional de México / campus Irapuato

Fecha de recepción: 19 de marzo de 2024

Fecha de aceptación: 3 de junio de 2024

RESUMEN: La investigación se centra en los esfuerzos térmicos y electromecánicos combinados del comportamiento del cable ACSR / AS destacando la prueba a la tensión mecánica y su comportamiento térmico-mecánico como parte de la revisión de una de las líneas de transmisión aéreas del país. En donde se analiza los diferentes factores que determinan su capacidad térmica, además del esfuerzo de deformación del cable resaltando algunos fenómenos que se pudieran presentar debido a las temperaturas, la cristalización y el creep en la determinación de la influencia en el límite térmico, así como la determinación de la tensión de rotura y el comportamiento de la flecha. El uso de este tipo de cables y su aplicación se utiliza en tramos largos como conductores de tierra y de fase debido a su alta relación de resistencia mecánica, presentando una buena capacidad de cargabilidad. Por consiguiente, la temperatura del conductor normalmente está influenciada por la cargabilidad de la línea y de las condiciones climáticas. Lo cual no solo se relaciona directamente con la máxima corriente que pueda circular por el conductor a su vez también por el límite térmico.

PALABRAS CLAVE: Cable, pruebas, mecánicas, límite térmico, flecha y creep.

ABSTRACT: The research focuses on the combined thermal and electromechanical stresses of the behavior of the ACSR / AS cable, highlighting the mechanical stress test and its thermal-mechanical behavior as part of the review of one of the country's overhead transmission lines. Where the different factors that determine its thermal capacity are analyzed, in addition to the deformation stress of the cable, highlighting some phenomena that could occur due to temperatures, crystallization and creep in determining the influence on the thermal limit, along with the determination of breaking stress and arrow behavior. The use of this type of cables and their application is used in long sections as ground and phase conductors due to their high mechanical resistance ratio, presenting a good load capacity. In consequence, conductor temperature is normally influenced by line loadability and weather conditions. In addition, directly related to the maximum current that can flow through the conductor, but also to the thermal limit.

KEY WORDS: Tests, Cable, resistance, mechanical, thermal, conductor, electrical behavior.

INTRODUCCIÓN

El análisis del comportamiento en cables para líneas de transmisión subterráneas y aéreas debe de estar sometido a un conjunto de pruebas mecánicas, térmicas para garantizar el funcionamiento de este tipo de cables instalados en las líneas de transmisión. La investigación aborda la temática del análisis de pruebas en cables tipo ACSR / AS, basada en las normativas de la Comisión Federal de electricidad CFE, en donde algunas de las Normas que destacan se presentan tales como

CFE-E000016, NOM-J-142, conjuntamente con las normas internacionales, IEEE, IEC (AEIC y AEICCS6). Mediante el desarrollo de pruebas mecánicas, térmicas y la revisión del presente Cable ACSR / AS calibre 477 HAWK/AS, y tensión de ruptura nominal TRN de 84kN, que destacando dentro de la especificación CFE E0000-18-2013 Especificación CFE-E 1000-12 [1].

Inspección Visual

La inspección destaca la revisión del cable recorriendo la línea a través de la trayectoria en busca de daño visiblemente observable durante su instalación o su puesta en servicio, conjuntamente en la revisión de sus accesorios los cuales estén debidamente instalados. En la Figura 1 se puede observar una perspectiva de una línea de transmisión LTs observándose herrajes y aisladores típicos en líneas.

Asimismo, de la inspección se verifican las condiciones de la línea (cable) mediante la identificación de las terminales del circuito, el registro de empalmes, y las conexiones a tierra. Destacando que visualmente no se debe encontrar ninguna desviación de la construcción de las líneas. Aunado a la verificación dimensional, física, conexiones a tierra, soportes de la línea etc.



Figura 1. Perspectiva de una LTs.
Fuente: Elaboración propia.

Del desarrollo de pruebas y del análisis de estudio de las LTs las pruebas eléctricas son complemento de las mecánicas, térmicas, químicas etc. No obstante, el enfoque de la presente investigación destaca las pruebas mecánicas y térmicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El análisis del presente cable Hawk/AS ACSR/AS se realiza como pruebas de desarrollo y de procedimientos de pruebas de campo en donde se analizaron algunas muestras del cable conductor, iniciando con este

protocolo de pruebas que a continuación se describe. Para poder determinar las características del cable se realizaron las pruebas de comportamiento mecánico, resistencia a la tensión mecánica, es importante destacar las cualidades del análisis del cable compuesto de alambres de aluminio 1350 desnudo en temple duro "H19", con núcleo central compuesto de alambres de acero recubierto de aluminio soldado [2].

Dentro del protocolo, su seguimiento, aplicación se describe a continuación, con el equipo de pruebas que comprende de una fuente de corriente alterna, mediante la cual se inyecta una corriente inicial de 300 A registrando la temperatura hasta que esta se estabiliza de tal forma poder escalar la corriente en saltos de 150 A siendo el primer en 300, 450, y llegar a 600 A, Considerar que, desde el punto de partida del ensayo se aplica mecánicamente una tensión inicial en el conductor de 16240 N que representan el 19.3% de la TRN como lo describe la normativa, esta maniobra se logra mediante un brazo de palanca y con pesos muertos, y se analiza el monitoreo de la flecha y de LA temperatura en el conductor [3].

En la Figura 2 se muestra cómo se estabiliza la temperatura, una vez que esta es inyectada al conductor Hawk/AS ACSR/AS destacando el análisis de los termopares, para esta prueba la utilización de estos se clasificó como C4, C7, C8 y C9 como la temperatura para cada uno de ellos y C3 se designó como la corriente programando un valor de 0, 150 hasta llegar a los 600 amperes.

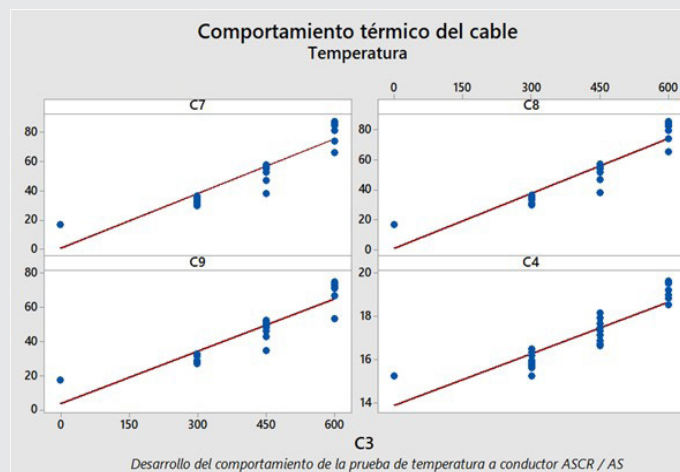


Figura 2. Comportamiento térmico de los termopares.
Fuente: Elaboración propia.

Como se describió previamente el proceso de inyección de corriente en conductores con una calibración previa en 300 A, y saltos de 150 A. Asimismo, En la Figura 3 permite visualizar el comportamiento de los termopares C5, C7, C8, C9 y C10 vs t a lo largo de la prueba se observa el comportamiento en los termopares.

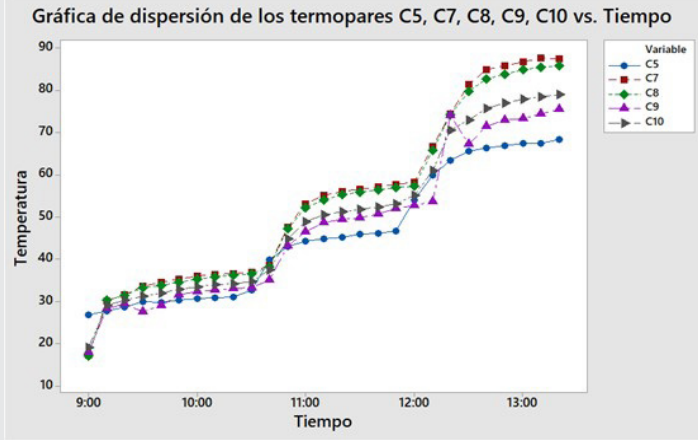


Figura 3. Gráfica de la dispersión de los termopares versus tiempo de prueba del cable.
Fuente: Elaboración propia

En el análisis del comportamiento de un conductor mediante una línea de transmisión es importante conocer el comportamiento de la flecha teniendo los criterios de diseño considerando que los conductores eléctricos están expuestos a esfuerzos mecánicos y térmicos los cuales están representados en ciclos térmicos estos se presentan durante la operación. En la Figura 4 se presenta una imagen del comportamiento de la flecha en este caso, se tomaron los termopares C9, C10, C11, la temperatura vs deformación del conductor [4].

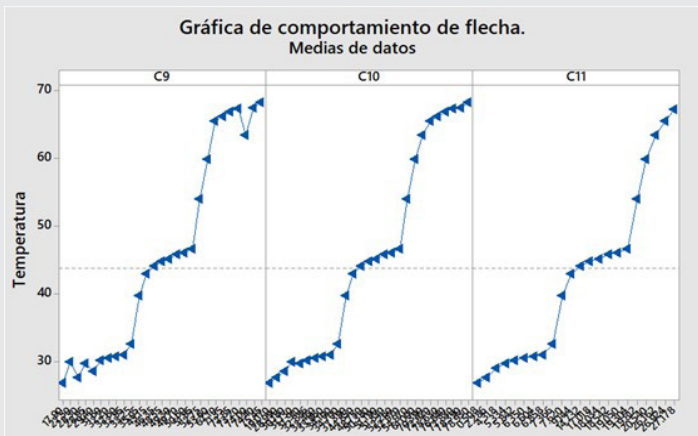


Figura 4. Grafica del comportamiento de Flecha.
Fuente: Elaboración propia.

Lo cual recae en una mayor elongación como respuesta a la acción de la temperatura y por el mismo esfuerzo combinado lo cual implica una disminución en la TRN. El estudio del análisis y del protocolo de pruebas se tiene a desarrollar el circuito de operación para el cable Hawk/AS ACSR/AS. En el orden del circuito de pruebas cabe destacar la precisión y seriedad de cada uno de los detalles dentro del arreglo. Es importante recordar que durante la operación de la línea los conductores se ven afectados por estos cambios de temperatura y que debido esto se ve afectado el valor de la longitud es aquí donde radica la importancia de la

medición de la flecha. En la Figura 5 se puede apreciar dos imágenes las cuales muestran el arreglo para la medición de la flecha [5].

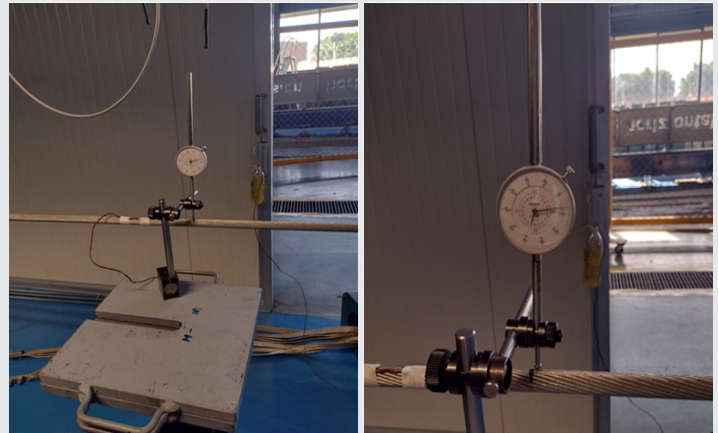


Figura 5. Lectura de la medición de la flecha durante la prueba.
Fuente: Elaboración propia.

Simultáneamente inmerso en el protocolo de pruebas se implementa el circuito de estudio de termo-mecánica, en donde es importante enfatizar que el conductor sufre una severa deformación elástica cuando se le aplica un esfuerzo mecánico. En la Figura 6 se observa dos imágenes de la prueba termo-mecánica. Como es conocido una vez que un conductor se elonga debido a una tensión este permanece así, aun que una vez que esta tensión desaparece el cable no regresa a su estado previo por lo cual el cable conductor sufrió una elongación, es aquí en donde se origina el concepto de la prueba de Creep la cual se utiliza para definir la deformación plástica que presenta el cable a mantener la carga sostenida en ciertos periodos de tiempo.



Figura 6. Arreglo de prueba para esfuerzos térmicos.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Con base a la información se determinó las características del cable, realizando pruebas de comportamiento mecánico, resistencia a la tensión mecánica, obteniéndose resultados significativos: un perfil de conductor ACSR/AS, con los siguientes datos de operación, una

ampacidad hasta 660 Amperes y una temperatura de 75°C.

Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la tensión con grapas tipo pistola indican que puede soportar una carga en el rango de 51340 N y hasta 60570 N, presentando una resistencia al orden del 61.13 al 72,1% a la resistencia que debiera presentar el conductor en donde el valor máximo es 84KN, es importante destacar que el cable puede soportar una mayor resistencia a la tensión para lo cual se deberán de implementar grapas de tensión-compresión [6].

En la verificación del comportamiento termo-mecánico se implementaron ensayos con la finalidad de determinar el comportamiento de la flecha la cual puede experimentar el cable con variables en la aplicación de la corriente, con carga mecánica constante y monitoreo la respuesta de la temperatura, obteniéndose una deformación dentro de los parámetros establecidos para determinar la flecha, en las pruebas este cable mostro una resistencia mayor a la esperada, y en el flujo de corriente, reflejándose directamente en la temperatura, la cual presentó valores por arriba de los 75°C, es decir con 600A de corriente el conductor registro un rango de temperaturas de hasta 80.57 °C determinándose que al encontrarse por encima de la temperatura de diseño el valor máximo de ampacidad seria al orden de los 550 A permisibles del conductor en las condiciones presentada.

Los resultados de los análisis previamente descritos conllevan a destacar que una línea de transmisión a mayor tiempo de operación se somete a los esfuerzos térmicos y mecánicos combinados debido a que los esfuerzos y efectos sobre el conductor son mayores [7].

En la Figura 7 Se destaca la puesta de la prueba de resistencia a la tensión.



Figura 7. Arreglo de prueba para TRN.
Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis matemático del comportamiento de flecha vs temperatura se describe a continuación. Destacando el análisis de relación de la flecha y temperatura el cual se mostró lineal como se observó en las Figuras iniciales. Mediante la Ec 1 se puede determinar analíticamente el cambio de estado del cable. La Ec 2 se tomó en consideración en la longitud del cable, en este sentido de manera más concreta en LTS.

$$L_2 = L_1 \left(1 + \alpha(t_c - t_{c0}) + \frac{T_2}{E \cdot a} \right) \quad \text{Ec 1}$$

Para la ecuación de la longitud esta la Ec 2, y en las tensiones aplicadas con la Ec. 3

$$L = \frac{2H}{w} \operatorname{senh}\left(\frac{ws}{2H}\right) \quad \text{Ec 2}$$

Las tensiones aplicables por definición:

$$T_{ef} = \frac{wx}{2} \left[\frac{H}{wx} \cosh\left(\frac{wx}{H}\right) + \frac{1}{\operatorname{senh}\left(\frac{ws}{2H}\right)} \right] \quad \text{Ec 3}$$

Del cambio de temperatura en el análisis previo del protocolo de prueba al cable y debido a las deformaciones a las que se someten lo cual genera una elongación, la Ec. 4 se usó para este caso específico.

$$D = y = \frac{H}{W} \left(\cosh\left(\frac{ws}{2H}\right) - 1 \right) \quad \text{Ec 4}$$

Los limites térmicos de operación de las líneas de transmisión se contemplaron y se consideró, donde se remarque las propiedades del conductor, así como sus bondades del módulo de elasticidad el cual se ve desarrollado por la ecuación previa y asimismo la tensión de rotura nominal TRN en consecuencia a los ciclos térmicos y la temperatura de operación de la LTs. En la Figura 8 se presenta una perspectiva del tendido del cable en el laboratorio en donde se simula la LTs [8].



Figura 8. Perspectiva del tendido de la LTs en laboratorio para la prueba de TRN.
Fuente: Elaboración propia.

Durante el desarrollo de pruebas realizado por el protocolo al cable ACSR / AS, se presenta la siguiente fractura del objeto bajo prueba (OBP) [9].

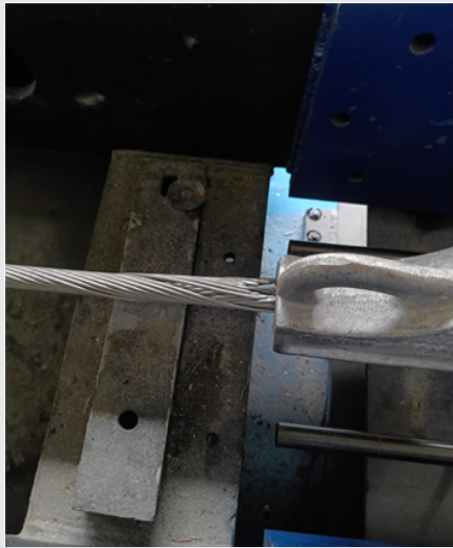


Figura 9. Zona de fractura del OBP.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestra la gráfica de tensión residual con una carga máxima de 60570 N en donde se destaca una caracterización completa del cable ACSR / AS.

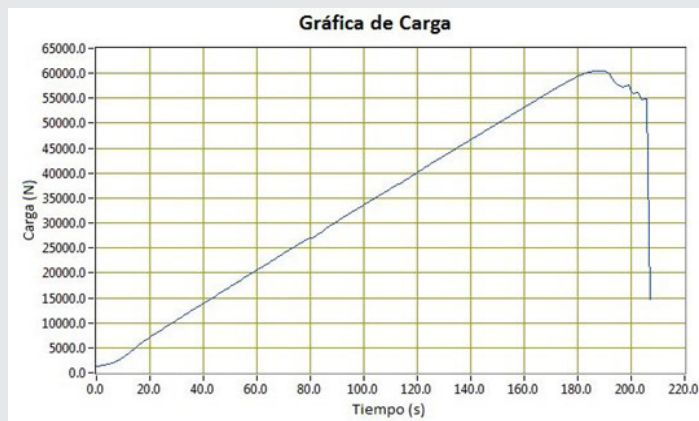


Figura 10. Gráfica de la tensión residual aplicada al conductor cable ACSR / AS.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se observa la gráfica de tensión residual, pero con una carga máxima 51340 N que de igual forma es destacable la caracterización completa del cable ACSR / AS.



Figura 11. Gráfica de la TRN con 51340N al conductor cable ACSR / AS.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos de pruebas realizadas se concluye que el conductor bajo análisis tiene las características para ser calificado como un cable conductor ACSR/AS, el conductor contiene características electromecánicas limitadas para este tipo de cable, es decir tiene una resistencia a la tensión de ruptura en el rango de 51 350 N y hasta 60 580 N, cabe mencionar que dependerá del herraje de sujeción que se utilice podrá aumentar su capacidad de resistencia mecánica. Aunado a que los herrajes-grapa tipo pistola utilizados en las pruebas, contribuye en una concentración de esfuerzos en los alambres de las coronas de aluminio, delimitado a una menor resistencia a la tensión mecánica.

Desde otro punto de vista y conforme al comportamiento obtenido mediante las pruebas electromecánicas, se concluye que el conductor puede trabajar con una máxima ampacidad del orden de los 600 A, esto derivado del desempeño térmico registrado del cable en los diferentes saltos de corriente, es decir, la temperatura de trabajo recomendable de la referencia de CFE para este tipo de cable conductor es del orden de los 75°C, las cuales fueron registradas en el escalón de los 600 A siendo el 90% de su ampacidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] "Especificación CFE 2C-301-15, Editada en Nov 2020".

[2] X. Ma, L. Gao, J. Zhang, and L. C. Zhang, "Fretting wear behaviors of aluminum cable steel reinforced (ACSR) conductors in high-voltage transmission line," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 9, Sep. 2017, doi: 10.3390/met7090373.

[3] P. H. C. Rocha, J. I. M. Díaz, C. R. M. Silva, J. A. Araújo, and F. C. Castro, "Fatigue of two contacting wires of the ACSR Ibis 397.5 MCM conductor: Experiments and life prediction," *Int J Fatigue*,

vol. 127, pp. 25–35, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2019.05.033.

[4] I. M. Andrés Vázquez Juárez, “BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA.”

[5] R. A. Meyberg, F. M. Absi Salas, L. A. M. C. Domingues, M. T. Correia de Barros, and A. C. S. Lima, “Experimental study on the transformer effect in an ACSR cable,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 119, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105861.

[6] S.-I. Ao, L. Gelman, D. W. L. Hukins, and International Association of Engineers, *World Congress on Engineering : WCE 2016 : 29 June - 1 July, 2016*, Imperial College London, London, U.K.

[7] P. O. Kwasi Anane et al., “Traveling wave arrival time detection for two-terminal non-contact measurement based on short time matrix pencil scheme,” *Electric Power Systems Research*, vol. 205, 2022, doi: 10.1016/j.epwr.2021.107747.

[8] F. Lévesque, S. Goudreau, A. Cardou, and L. Cloutier, “Strain measurements on ACSR conductors during fatigue tests I - Experimental method and data,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 4, pp. 2825–2834, Oct. 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2060370.

[9] R. Fernández Vázquez, “Desempeño mecánico de montajes de líneas de distribución de energía eléctrica Mechanical Performance of Electric Power Distribution Line Mounting.”





Multidisciplinario
e
ingenierías

Ingeniantes

Modelo de fijación de precios basado en costos por proceso para las Artesanas de Hueyapan



Colaboración

Laura Carreón Romero, María Eugenia Carreón Romero, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Fecha de recepción: 22 de septiembre de 2023

Fecha de aceptación: 11 de abril de 2024

RESUMEN: La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo basado en un sistema de costos por proceso que permitiera fijar los precios a las prendas bordadas que realizan las artesanas del municipio de Hueyapan, Puebla. El diseño de la investigación fue de carácter no experimental transversal descriptivo. Se utilizaron tres técnicas para la recolección de datos: cuestionario, entrevista y observación directa. Se efectuó el análisis de todas las acciones efectuadas por las artesanas en cada etapa de producción para obtener la prenda bordada, a través de la observación directa y la entrevista. Posterior a ese análisis, se identificaron los costos incurridos en cada etapa productiva y se formuló un cuestionario con el propósito de identificar los desembolsos reales en que incurren las artesanas para calcular los costos de las prendas bordadas. Más adelante se seleccionó una muestra de artesanas a quienes se les aplicó el cuestionario diseñado. Por último, se muestra el procedimiento propuesto para acumular los sacrificios económicos de todos los procesos que intervienen en la elaboración de las prendas bordadas; el cual podrá ser utilizado para la fijación del precio.

PALABRAS CLAVE: artesanas, costos, precio, prenda, procesos.

ABSTRACT: The objective of this research was to develop a model based on a process cost system that would allow setting prices for embroidered garments made by artisans in the municipality of Hueyapan, Puebla. The research design was of a descriptive cross-sectional non-experimental nature. Three techniques were used for data collection: questionnaire, interview and direct observation. An analysis was carried out of all the actions carried out by the artisans in each stage of production to obtain the embroidered garment, through direct observation and interview. After this analysis, the costs incurred in each production stage were identified and a questionnaire was formulated with the purpose of identifying the real disbursements incurred by the artisans to calculate the costs of embroidered garments. Later, a sample of artisans was selected to whom the designed questionnaire was applied. Finally, the proposed procedure is shown to accumulate the economic sacrifices of all the processes involved in the production of embroidered garments; which can be used to set the price.

KEYWORDS: artisans, costs, price, garment, processes

INTRODUCCIÓN

Hueyapan es un municipio de Puebla que cuenta con una población de 7,885 habitantes, de acuerdo con el censo nacional de población y vivienda, de los cuales 4,131 son mujeres y 3,724 son hombres. Actualmente en la comunidad indígena de Hueyapan habitan mujeres que se dedican a la elaboración de alguna artesanía y que de acuerdo con el censo del INEGI 2019 representan el 8%, las cuales, corresponden a 471 personas del total de la población [1].

En el caso de las mujeres hueyapanenses, existe un gran número de ellas, que además de cumplir con las responsabilidades del hogar, se dedican a la elaboración de prendas bordadas [2].

Son varias unidades económicas y personas dedicadas a esa labor, representadas por artesanas y divididas en grupos, las cuales en ocasiones no reciben un pago justo por los trabajos que realizan.

Las obreras bordadoras por lo general pertenecen a clases menos favorecidas, situación que obliga a que sean apoyadas para fijar los precios a los productos artesanales que venden, pues el valor monetario que se paga por sus prendas, en ocasiones, no corresponde al tiempo que dedican para el bordado y terminado de una pieza [3].

Así pues, para mitigar la problemática, se requiere de un análisis de todos los costos incurridos de las prendas bordadas que realizan las artesanas, para que de esta forma se pueda asignar de manera precisa y justa los precios.

Es importante comentar que las prendas bordadas por los huayapanenses conservan muchas de las tradiciones, costumbres, religión y cultura de Hueyapan, pero que desafortunadamente no siempre son valoradas y, por lo mismo, no son bien pagadas. Un grupo importante de la población del municipio se dedica a la artesanía textil, específicamente, a la elaboración de chales y una gran variedad de artículos de lana, bordados para la decoración doméstica o prendas de vestir, las cuales son fabricadas de forma manual y con métodos prehispánicos que incluyen desde trasquilar a los borregos para elaborar los lienzos de algodón hasta elaborar los tintes que se utilizan para teñirlos [4].

De acuerdo a las 748 unidades económicas del municipio de Hueyapan, Puebla, el 42% corresponden a la industria manufacturera de las cuales el 68% [5] se dedican a la elaboración de prendas bordadas, resaltando que dicha actividad está adquiriendo un papel importante en la economía del municipio, ya que el chal bordado con sus múltiples variedades se ha convertido en una de las principales fuentes generadoras de ingresos para las familias Hueyapanenses [6].

Al considerarse la venta de prendas bordadas la principal fuente de ingresos para algunas familias de la localidad, es necesario analizar los procedimientos que utilizan actualmente las artesanas para asignar precios, pues en la actualidad la mayoría de las empresas y hasta las más sofisticadas utilizan métodos simplistas para la asignación de precios, entre los que destacan: el basado en el costo más un margen, el fundamentado en la competencia o en el consumidor [7].

Cabe mencionar que independientemente a la diversidad de métodos existentes para la fijación de precios, las empresas incluyen la demanda, los costos y la competencia como característica común para establecer el precio de venta a sus productos [8].

En efecto las características comunes: demanda, costos y competencia son analizadas para verificar la cantidad de dinero que están dispuestos a pagar los clientes, comparar el producto con el de los competidores para sacar ventajas y determinar el costo del producto con la intención de alcanzar una determinada rentabilidad. Sin embargo, al analizarlas de manera más puntual, la característica de costos es la que permitirá a través de un análisis minucioso, obtener los beneficios económicos esperados, especialmente para todas aquellas artesanas que dependen de la venta de sus prendas bordadas para obtener ingresos.

Es importante mencionar que las empresas establecen el precio de sus productos con base en los costos de sus insumos [9]; y además que el método basado en el costo más un margen es el más utilizado por la mayoría de los empresarios mexicanos [10].

Con respecto a los costos, la producción artesanal de Hueyapan se encuentra clasificada en los procesos manuales, debido a que las actividades son realizadas íntegramente por personas; con respecto a la naturaleza del proceso, la producción se considera como de integración debido a que se unen varios componentes para la elaboración de un nuevo producto y en lo relacionado a la continuidad del proceso, esta se clasifica con un enfoque por proceso [11].

Para fijar el precio a los productos que comercializa una empresa, de inicio, se tiene que empezar con el cálculo del costo de producción, es decir, efectuar la acumulación de los tres elementos del costo, a través de la implementación de un sistema de costos adecuado a las características de la producción, al momento de la determinación de los costos y al método de costeo.

Los sistemas de costos, en lo referente a la función de producción, son el conjunto de procedimientos, técnicas, registros e informes estructurados sobre la base de la teoría de la partida doble y otros principios técnicos, que tienen por objeto la determinación de los costos unitarios de producción y el control de las operaciones fabriles efectuadas [12]. Es decir, son aquellos que acumulan la información de los consumos que se producen en la fabricación de un bien o servicio, con el fin de calcular los costos totales y unitarios de producción [13].

Para asignar los costos de producción históricos o realmente incurridos a cualquier producto se requiere de un sistema de costos que asigne de manera correcta los elementos directos, pero en el caso de los gastos indirectos de fabricación éstos sean acumulados para que al finalizar el periodo de costos deban ser asignados a través de alguna base para su distribución, [14].

Pues bien, en el presente trabajo se propone el desarrollo de un modelo de fijación de precio basado en

los costos para determinar los precios a las prendas bordadas que realizan y venden las artesanas del municipio de Hueyapan, Puebla.

METODOLOGÍA

El diseño de esta investigación es de carácter no experimental transversal descriptivo, en virtud de que se trata de analizar el procedimiento que utilizan las artesanas del municipio de Hueyapan, Puebla para fijar los precios a las prendas que elaboran.

Por lo que primero se analizará a través de la técnica de observación las etapas involucradas en la realización de las prendas; para el caso de las dudas referentes a las etapas de elaboración se utilizará la entrevista directa a las artesanas y con respecto a la obtención de la información referente al cálculo de los costos y la fijación de precios se utilizará la encuesta, por lo que será necesario diseñar y aplicar un cuestionario de veinticinco ítems a la población de estudio.

Para el diseño del cuestionario se formularán preguntas con dos opciones de respuesta: de acuerdo y en desacuerdo. Cabe hacer mención que, por cuestiones de confidencialidad, para hacer referencia al nombre de las materias primas utilizadas en cada etapa de producción se utilizarán letras, debido a que los procesos de producción para la elaboración de prendas forman parte del patrimonio cultural de Hueyapan. Las preguntas formuladas en el cuestionario incluirán el manejo de los elementos del costo en cada etapa de producción; y posteriormente con los resultados que se obtengan, se pueda dar respuesta a la pregunta de investigación, ¿La implementación de un modelo basado en los costos por proceso, permitirá asignar de forma correcta los precios a las prendas bordadas que realizan las artesanas del municipio de Hueyapan, Puebla?

Procedimiento

Para iniciar el trabajo de investigación; primero se detectó la población de artesanas, identificando veintiún grupos de acuerdo a información proporcionada por la Secretaría de Turismo, cada uno de ellos representado por una artesana, la cual es elegida por cada grupo en función de disposición de tiempo, pues se requiere de la asistencia de ellas a reuniones, capacitaciones, ferias, exposiciones, etcétera; determinando entonces que para la investigación se elegirían a las artesanas representantes de cada grupo porque por las capacitaciones que reciben, tienen la información actualizada referente a los desembolsos que deben considerar para determinar los precios de las prendas bordadas. Posteriormente detectada la población objetivo se procedió a acudir a las áreas de trabajo de las artesanas para identificar las actividades realizadas en la elaboración de las prendas bordadas y definir los costos implícitos. En esta fase de la investigación se utilizó la técnica de la observación para anotar paso a paso las actividades desarrolladas.

Después, se utilizó la entrevista directa a las artesanas para corroborar la información obtenida. Como resultado de la aplicación de las técnicas de observación y entrevista se identificó que en el caso de la elaboración del chal de lana fina se requieren de diez etapas de producción, sin embargo, por cuestiones de desplazamiento del producto, se han omitido algunas de ellas como el trasquilado y lavado de la lana del borrego, la elaboración del lienzo en telar de cintura, entre otras; debido a que dichas fases incrementan los tiempos de elaboración, provocando precios altos que los clientes en ocasiones no quieren pagar.

Así mismo se identificó que las etapas de producción son menos para las prendas bordadas en lienzo de acrílico en relación con las de lana fina. Por lo cual, derivado de las etapas de producción omitidas en la actualidad y de aquellas en las que la mayoría de artesanas se apoyan para iniciar el proceso de elaboración de prendas bordadas se determinó iniciarlo en la etapa siete, en virtud de que, a partir de esa fase, las artesanas elaboran los lienzos de lana en máquina de pedal o incluso los compran, seguidas de los procesos de teñido, amarres y bordado.

En el análisis de las etapas se pudo apreciar también, la especialización que tienen algunas de las artesanas en los diferentes procesos para la elaboración de las prendas, es decir, que se pueden identificar expertas en el proceso de tejido, de teñido, de bordado y amarres; contribuyendo de algún modo a la minimización de tiempos en la elaboración.

En el caso del análisis del proceso de teñido de lienzos de lana, se identificó que las artesanas además de los materiales necesarios requieren de otros insumos propios de la región. Con respecto al análisis del proceso de amarre, se pudo apreciar la diversidad de tejidos que se realizan en las prendas. En seguida se efectuó el análisis al proceso de bordado, del cual se identificó que tanto a las prendas de lana como a las de acrílico; se aprecian diferentes puntadas e iconografía en los bordados.

Ahora bien, conocidas las acciones más relevantes de cada uno de los procesos para la elaboración de las prendas, lo que prosigue es determinar los costos de las prendas bordadas, para asignar los precios. Por lo cual fue preciso aplicar el instrumento diseñado a las artesanas detectadas como población objetivo de estudio. A continuación, se detallan los resultados más significativos.

RESULTADOS

En cuanto a los resultados obtenidos en el proceso del tejido, el 100% de las artesanas comentó que, si están de acuerdo con la acumulación de costos en cantidad y precio de las materias primas para su elaboración. Sin embargo, comentaron estar en desacuerdo al no considerar como costo, el gasto de flete que ellas tienen que pagar por la compra de algunos materiales, así

como en el precio de las horas empleadas para realizar los lienzos de lana, ver Figura 1.

Con respecto a la pregunta referente a las actividades invertidas (esfuerzo humano) en el proceso de teñido las artesanas mencionaron estar de acuerdo en considerarlas en su totalidad para el cálculo del precio de las prendas, sin embargo, a través de la técnica de observación se pudo apreciar, que algunas de ellas no están contempladas. En la Figura 2, se aprecia resumida la información del costo primo. También afirmaron estar en desacuerdo en el tratamiento de algunos desembolsos fijos que realizan y que no tienen que ver con materiales y esfuerzo humano, pero que son necesarios para obtener el producto terminado.

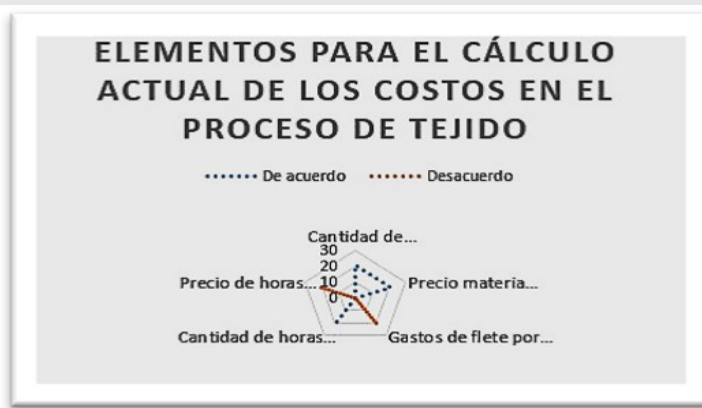


Figura 1. Proceso de tejido.
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los resultados obtenidos en el proceso de teñido, el 100% de las artesanas entrevistadas comentó que el teñido lo aplican únicamente a los lienzos de lana y que tienen definidos los tiempos para elaborar los distintos teñidos a las diversas prendas.

Así mismo el 100% comentó que están de acuerdo en tomar en cuenta la cantidad correcta de kilos o unidades de materia prima para calcular el precio de sus productos; ver Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad (kilos o unidades) de materia prima considerada para fijar precio.

| Proceso de teñido | Cantidad | |
|------------------------|------------|------------|
| | De acuerdo | desacuerdo |
| Materias primas | | |
| Materia prima B | 21 | 0 |
| Materia prima C | 21 | 0 |
| Materia prima D | 21 | 0 |
| Materia prima E | 21 | 0 |
| Materia prima F | 21 | 0 |
| Materia prima G | 21 | 0 |
| Materia prima H | 21 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

Un dato importante que se obtuvo fue lo relacionado con los precios de algunas materias primas utilizadas en el proceso de teñido, pues algunas artesanas no consideran materiales porque económicamente expresan no les cuesta obtenerlos, mientras que el resto los aplica correctamente en la fijación de precios; ver Tabla 2.

Tabla 2. Precio de materias primas y flete para fijar precios.

| Proceso de teñido | Precio | |
|--------------------------|------------|------------|
| | De acuerdo | Desacuerdo |
| Materias primas | | |
| Materia prima B | 21 | 0 |
| Materia prima C | 21 | 0 |
| Materia prima D | 21 | 0 |
| Materia prima E | 16 | 5 |
| Materia prima F | 15 | 6 |
| Materia prima G | 17 | 4 |
| Materia prima H | 21 | 0 |
| Gastos flete compra M.P. | 0 | 21 |

Fuente: Elaboración propia.

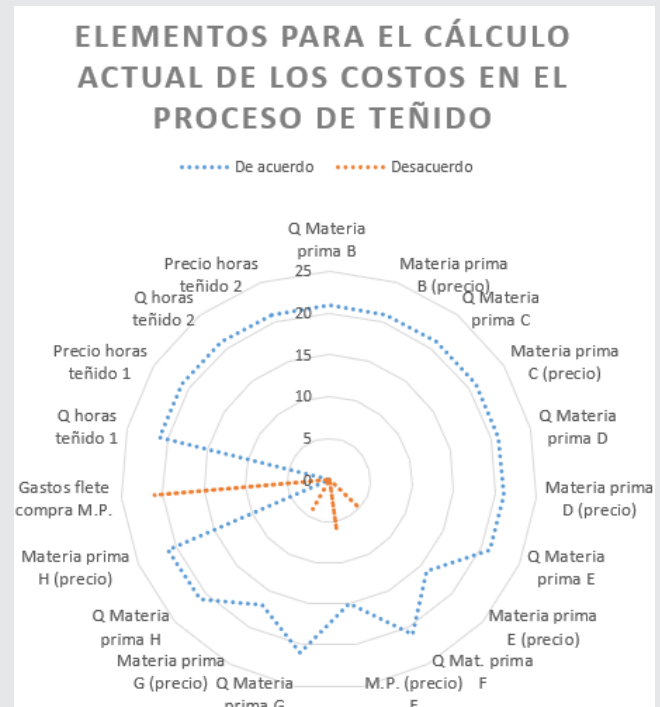


Figura 2. Proceso de teñido.
Fuente: Elaboración propia

En lo que concierne al proceso de amarres y bordado, Se muestra que el 100% de las artesanas comentó que en la mayoría de prendas se borda iconografía representativa del municipio de Hueyapan, que están de acuerdo en el manejo exacto del tiempo que invierten (esfuerzo humano) en el bordado, aunque en función a la técnica de observación se pudo apreciar que no lo llevan de manera precisa; comentaron que conocen el costo de la materia prima A, pero que les resulta complicado calcular la cantidad precisa del material en el proceso, y además que tienen algunos otros desembolsos fijos, que desconocen cómo tratarlos para la determinación de los costos en los productos, ver Figura 3.

De acuerdo con los resultados, es importante comentar que la mayoría de los datos obtenidos del cuestionario hacen énfasis al manejo de los tres elementos del costo para su acumulación, sin embargo, se puede apreciar que hay elementos que hasta el momento se han omitido lo que ha originado costos imprecisos.

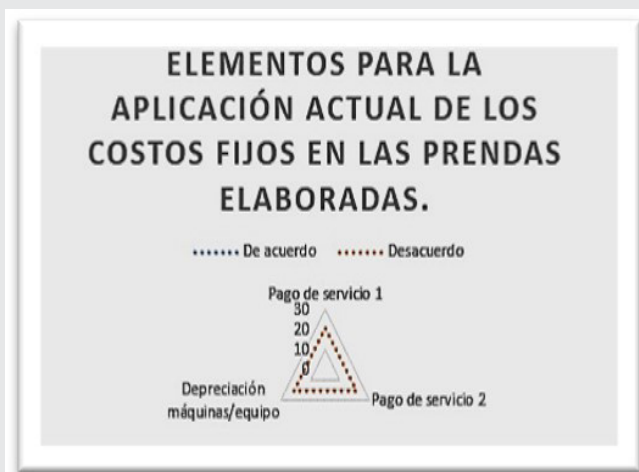


Figura 3. Costos fijos de periodo.
Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, es conveniente proporcionar una guía a las artesanas que incluya el manejo integral de los tres elementos del costo en todos los procesos para evitar omisiones que generen costos distorsionados y consecuentemente precios incorrectos, ver Tabla 3, además que dicha guía este apoyada en un sistema de costos por proceso, con la finalidad de traspasar los costos de producción de un proceso a otro durante un periodo determinado, hasta obtener el costo de las prendas terminadas [15].

Tabla 3. Guía para la determinación de costos de las prendas bordadas que realizan las artesanas de Hueyapan.

| Proceso | Elementos para costear | Cantidad | Precio | Total |
|--|--|--------------------------|--------|-------|
| Tejido | Costo de materia prima A | | | |
| | Horas empleadas para tejer lienzos | | | |
| Teñido | Costo de materia prima B | | | |
| | Costo de materia prima C | | | |
| | Costo de materia prima D | | | |
| | Costo de materia prima E | | | |
| | Costo de materia prima F | | | |
| | Costo de materia prima G | | | |
| | Costo de materia prima H | | | |
| | Horas empleadas en el teñido 1 | | | |
| | Horas empleadas en el teñido 2 | | | |
| | Amarres | Costo de materia prima I | | |
| Horas empleadas para tejer flecos del lienzo | | | | |
| Bordado | Costo de materia prima I | | | |
| | Horas para bordar iconografía en lienzos | | | |
| Gastos fijos de periodo | En función a la base para la distribución de GIF | | | |
| Costo de elaboración de la prenda | | | | \$ |

Fuente: Elaboración propia.

En la guía para la determinación de costos, se propone que se anote de manera precisa la cantidad y el costo de materia prima (precio de adquisición más gastos de flete) de todos los procesos. Para el caso de la cantidad de mano de obra (horas empleadas) en cada proceso, se recomienda se lleve un control para el registro de horas trabajadas, pues trabajan diferentes horarios en el día.

También en la guía se propone anotar el precio de las horas trabajadas en cada proceso, para obtener este dato se sugiere que se tome el salario mínimo profesional vigente al año que se esté trabajando, asociado a las actividades que se realizan en cada proceso más prestaciones mínimas de Ley. Obtenido el costo del salario diario este se deberá dividir entre las horas de la jornada diurna y que para este caso son ocho, con la finalidad de obtener el precio del costo por hora; una vez determinada, entonces dicho importe se deberá anotar en las celdas correspondientes de la guía para cada proceso, con la intención de obtener el costo de mano de obra.

























Posteriormente, en el caso de los datos que solicita la guía para el tratamiento de los gastos indirectos de fabricación para todos los procesos, se sugiere listar todos los desembolsos económicos fijos, que no se aprecian en los productos, pero que son necesarios para la elaboración de las prendas, esto con la intención de evitar que sigan aplicando porcentajes establecidos sin razón de ser.

Una vez definido el importe total de los GIF del periodo, se deberá identificar la base, y que en este caso se sugiere se utilice el número de horas trabajadas en cada proceso, para que posteriormente se obtenga la tasa de GIF expresada en pesos, producto de la división de los GIF entre el número de horas empleadas (proceso de tejido, teñido, amarres y bordados) para la elaboración de la prenda terminada. Así pues, en la guía, se deberán anotar la cantidad de horas empleadas de mano de obra de cada producto en la celda que dice cantidad, y en la celda de precio anotar la tasa de GIF expresada en pesos.

Después se sugiere descargar toda la información de manera correcta en las celdas de cantidad y precio, para cada uno de los procesos; luego se deberán multiplicar correctamente las celdas de cantidad por la celda de precio, para obtener los costos respectivos, los cuales deberán anotarse en la columna de total y sumarse para obtener el costo de elaboración de la prenda sin omisiones, ver Tabla 4.

Finalmente, obtenido el costo de la prenda bordada a través de la guía, prosigue la determinación de los objetivos de la política de precios y en fijar los precios para alcanzar los objetivos.

Tabla 4. Comparativo de los costos.

| Proceso | Elementos del costo | Cálculo de los costos con omisiones  y sin omisiones  | |
|---------|-------------------------------|---|---|
| | | Antes (sin guía) | Después (con guía) |
| Tejido | Materia prima |  |  |
| | Mano de obra |  |  |
| | Gastos indirectos fabricación |  |  |
| Teñido | Materia prima |  |  |
| | Mano de obra |  |  |
| | Gastos indirectos fabricación |  |  |
| Amarres | Materia prima | |  |
| | Mano de obra | |  |
| | Gastos indirectos fabricación |  |  |
| Bordado | Materia prima |  |  |
| | Mano de obra |  |  |
| | Gastos indirectos fabricación |  |  |

Fuente Elaboración propia.

Dentro de los objetivos más importantes de las políticas de precios que establecen las compañías se encuentran: la rentabilidad de las ventas o capital y el de situarse al nivel de la competencia [8]. Para el caso de la propuesta de fijación de precios para las prendas bordadas de las artesanas de Hueyapan, se propone cómo objetivo de política de precios el de rentabilidad de las ventas, en virtud de que cualquier empresa centra su objetivo en asignar precios a los productos que superen los costos y por tanto que generen beneficios que la hagan rentable; pues en la actualidad muchas artesanas, han fijado los precios basados en una política que se sitúa al nivel de la competencia, es decir, un gran número de ellas presenta un comportamiento denominado liderazgo en precio el cual sirve como indicador para todas las demás artesanas; sin embargo esta política es muy riesgosa, debido a que las seguidoras de precios no se aseguran de que el precio rebase a los costos.

A continuación, en la Tabla 5, se da a conocer la manera para fijar el precio de venta para las prendas bordadas que realizan las artesanas de Hueyapan, Puebla, aplicando el método del costo más un margen con una política de precios basada en la rentabilidad de ventas.

Tabla 5. Fijación del precio de venta.

| | Costo de elaboración de la prenda bordada | \$ |
|-------|---|----|
| Más | Tasa justa o razonable expresada en pesos | |
| Igual | Precio de venta | |

Fuente Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, se puede afirmar que la implementación de la propuesta para la asignación de precios a las prendas bordadas que realizan las arte-

sanas del municipio de Hueyapan, Puebla, ayudará en gran medida a reducir o eliminar las omisiones en el registro y acumulación de los costos, en virtud de que la guía las orientará paso a paso en el registro de los elementos del costo en cada etapa productiva de tejido, teñido, amarres y bordado. Cabe mencionar que la guía no solamente se podrá utilizar en el proceso de tejido (primera fase de producción), sino que ofrecerá la ventaja de utilizarla en cualquiera de las 4 etapas, pues durante la investigación se pudo apreciar la especialización en los procesos de tejido, teñido, amarres y bordado por parte de algunas artesanas.

Es importante señalar que para generar resultados óptimos en el tratamiento de los costos no solo se sugiere el uso de la guía en los diferentes procesos sino también la política de fijación de precios, con la intención de conocer también el beneficio económico obtenido por cada prenda elaborada. Adicionalmente se recomienda manejar una guía en cada prenda que se realice para un mejor control, debido a que existe una gran variedad de artículos para la venta con características únicas en su diseño, bordado, terminado y en consecuencia rentabilidad.

La implementación del uso de la guía de costos por las artesanas para asignar precios será un reto, debido a que ellas han manejado por años un mismo procedimiento que refleja áreas de oportunidad en la acumulación de costos; por lo cual será indispensable elaborar un plan de capacitación con la intención de enseñarles el tratamiento de los costos en cada etapa de producción, sin perder de vista las características de la población objetivo para llevarla a cabo, como edad, idioma o lengua, disposición de tiempo y nivel educativo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Gobierno de Hueyapan, «Gobierno de Hueyapan,» 2022. [En línea]. Available: <https://hueyapanmorelos.gob.mx/documentos/pmdhueyapan2022.pdf>.

[2] L. Delalande y C. Paquette, «redalyc.org,» Diciembre 2007. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423839508005>.

[3] T. Pérez Bustos y S. D. Márquez, «redalyc.org,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92443623008>.

[4] G. R. Banda Arsuaga y M. E. Santiago Jiménez, «Redalyc,» Junio 2014. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193432638001>.

[5] INEGI, «Instituto Nacional de Estadística y Geografía,» Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.

[6] A. Lino Pozos, «Plan Municipal de Desarrollo,» Enero 2019. [En línea]. Available: <https://planeader.puebla.gob.mx/pdf/Municipales2020/Hueyapan.pdf>.

[7] J. Raju y Z. J. Zhang, *Fijando precios para ganar competitividad*, Barcelona: PROFIT, 2018.

[8] I. M. R. Díaz, F. J. Rondán Cataluña y E. C. Díez de Castro, *Gestión de precios*, Madrid: ESIC, 2018.

[9] V. Castañón, J. A. Murillo y J. Salas, «redalyc.org,» Enero 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31340954004>.

[10] D. N. Ramírez Padilla, *Contabilidad Administrativa*, México: McGraw Hill, 2018.

[11] C. Bustos Flores, «redalyc,» junio 2009. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545880009>.

[12] J. García Colín, *Contabilidad de costos*, México: McGraw-Hill, 2010.

[13] F. Villarreal Vásquez y C. A. Rincón Soto, «redalyc.org,» Julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265419724008>.

[14] M. C. Morillo M., «redalyc.org,» Julio 2010. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25718409007>.





Ciencias
de la
Computación

Ingeniantes

Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo emocional mediante indicadores de temas en redes sociales

RESUMEN: El proyecto se realizó en el municipio de Centla Tabasco, consiste en una aplicación web que monitoree aquellas publicaciones que realizan los estudiantes con la finalidad de detectar sus emociones plasmadas en la red social de una cuenta de Twitter (ahora X).

Depresión: en los informes que han presentados los tutores, que forman parte en el programa institucional de tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Centla demuestran que estudiar el primer año de alguna carrera universitaria puede asociarse con altos porcentajes de relación psicológica, principalmente depresión, al enfrentar a los alumnos con nuevos estresores.

Uso de la tecnología en los problemas emocionales en los estudiantes. Estas metodologías tradicionales imponen una disciplina de trabajo sobre el proceso de desarrollo del software, con el fin de conseguir un software más eficiente que coadyuve a enfrentar los problemas emocionales y de conducta en los estudiantes de nivel superior. Por tal motivo, se decide desarrollar una aplicación web para el monitoreo emocional mediante indicadores de temas en redes sociales, de tal manera que los tutores puedan detectar complicación psicológica, solicitando a tiempo canalizaciones psicológicas emocionales y conductuales al programa de Tutoría Institucional.

PALABRAS CLAVE: Redes Sociales, Emociones, Aplicación Web, Tutoría, Trastornos.



Colaboración

Roberto Custodio Martínez; Ana Lilia Sosa López
Manuel Torres Vásquez, Tecnológico Nacional de México Campus Centla

Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2023

Fecha de aceptación: 11 de abril de 2024

ABSTRACT: The project was carried out in the municipality of Centla Tabasco, it consists of a web application that monitors those publications made by students in order to detect their emotions reflected in the social network of a Twitter account.

Depression: in the reports presented by the tutors, who are part of the institutional tutoring program of the Higher Technological Institute of Centla, they demonstrate that studying the first year of a university degree can be associated with high percentages of psychological relationship, mainly depression, when facing the students with new stressors.

Use of technology in emotional problems in students. These traditional methodologies impose a work discipline on the software development process, in order to achieve more efficient software that helps face emotional and behavioral problems in higher-level students. For this reason, it was decided to develop a web application for emotional monitoring through indicators of topics in social networks, so that tutors can detect psychological complications, requesting emotional and behavioral psychological channels to the Institutional Tutoring program in time.

KEYWORDS: Social Networks, Emotions, Web Application, Tutoring, Disorders.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación tiene la finalidad de desarrollar una aplicación web que permita interactuar estudiantes y tutores, y estos a su vez les ayude a monitorear las emociones de los estudiantes en el programa institucional de tutoría en el Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe), actualmente algunos jóvenes que forman parte de la casa de estudio en el municipio de Centla Tabasco han sufrido de trastornos emocionales que afectan en su desarrollo académico, hasta el límite de llegar a posibles decisiones como: deserción escolar, bajo rendimiento

académico en las asignaturas, el suicidio en una ocasión se presentó en la institución o padecer depresión. Los problemas emocionales nos pueden afectar a todos, y en cualquier distinta situación de presión constante, o estrés en exceso, pero es necesario realizar un monitoreo de las emociones a los jóvenes que son muy volubles en su toma de decisión.

La idea de utilizar las tecnologías de la información, nace en el supuesto que los jóvenes en la actualidad, frecuentan considerablemente el uso de las redes sociales y presentan un dominio en el manejo de las diferentes herramientas tecnológicas, por tal motivo se consideran elementos primordiales con la finalidad de detectar y monitorear sus emociones que publiquen en dichas redes sociales, para mejorar la calidad de vida y profesional de los estudiantes.

H1 Existe una relación directamente proporcional entre las variables de dominio y frecuencia de uso de las redes sociales en los estudiantes del ITSCe.

H2 ¿De qué manera el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones en los estudiantes del ITSCe contribuye al monitoreo de problemas emocionales?

Finalizando con los objetivos de la investigación que consistió en “Desarrollar una aplicación web que permita extraer temas de interés en twitter, mostrando gráficamente las palabras de mayor interés que los estudiantes del ITSCe publican, con la intención de monitorear las emociones y mitigar problemas psicológicos en los jóvenes”.

Los mensajes publicados pueden ser de carácter público, que pueden ser leídos por todos los usuarios, o privado, restringidos para ciertos usuarios; éstos tienen que ser acordes a las directrices sobre las condiciones de uso y privacidad. Los tweets publicados por los estudiantes pueden versar sobre cualquier tema, y son caracterizados por hashtags, que incluyen una almohadilla (#) delante de cada contenido sobre el que tratan.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización y Material del Proyecto

El proyecto se realizó en el municipio de Centla Tabasco México, localizado en la región del río Usumacinta, Grijalva y en la subregión de los Pantanos que colinda al norte con el Golfo de México.

Particularmente el trabajo de investigación se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Centla, el material que se utilizó en el proyecto de investigación consiste en crear una cuenta en el servicio web o móvil de la aplicación mediante su correo electrónico e incluyendo una contraseña, cada usuario adquiere una cuenta de alguna red social; se pudo analizar que cada usuario puede añadir a otras cuentas, lo que se

denomina “seguir” todas las publicaciones que haga el usuario en la red social, y éstos además pueden ser “seguidos” por otros usuarios. Esto significa que al añadir usuarios al espacio personal de uno mismo se pueden ver las publicaciones de cada uno de ellos desde el muro o página de inicio del usuario, de tal manera nace la idea de realizar una aplicación que monitoree aquellos estudiantes que sigan cierta cuenta de twitter y de esta manera conocer solo las palabras o temas que en su momento comparten los estudiantes mediante hashtags.

Metodología usada

En este apartado se dará a conocer en que se enfoca la investigación, las distintas etapas en que está estructurado el proyecto.

Desarrollar un software significa construirlo simplemente, mediante su descripción. En un nivel más general, la relación existente entre un software y su entorno es clara. El software evoluciona a través de muchas versiones, a medida que se corrigen errores, se mejora el funcionamiento y se responde a las modificaciones que surgen en los requisitos.

Marco Teórico

El proyecto de investigación tomó en cuenta, identificar los conceptos centrales que sustentan el trabajo de investigación a partir de una revisión amplia de la literatura vinculada a una línea de investigación.

Depresión

La depresión constituye uno de los problemas de salud pública más relevante tanto a nivel nacional como internacional. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2012 alertó que alrededor de 350 millones de personas la padecen, mientras que en México afecta a cerca de 10 millones. (Bejet C., Medina Mora, Fleiz Bautista, & Zambrano Ruiz, 2017).

En los informes que han presentados los tutores, que forman parte en el programa institucional de tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Centla demuestran que estudiar el primer año de alguna carrera universitaria puede asociarse con altos porcentajes de relación psicológica, principalmente depresión, al enfrentar a los alumnos con nuevos estresores. “Los estudiantes que se ubican entre las edades de 16 a 21 años son lo que presentan mayores niveles de depresión” (Guadalupe Gamboa Castillo & García Díaz, 2019).

Frecuentemente, son los padres y profesores los que detectan que algo no funciona adecuadamente, y solicitan una evaluación emocional y conductual. Por su parte los profesores suelen pedir estas valoraciones por problemas de conducta y bajo rendimiento escolar, mientras que los padres consultan por problemas de rivalidad y/o celos entre los hermanos, alteraciones de conducta, y miedos diversos (Rodríguez Ben, 2019).

Uso de la tecnología en los problemas emocionales en los estudiantes.

Existen algunas buenas prácticas de educación emocional a nivel nacional que tratan las emociones con aplicaciones como las descritas anteriormente. Las Islas Canarias son un referente europeo en la implantación de la educación emocional de forma obligatoria en sus planes de estudios. Han creado un programa llamado Emocrea y que ahora se ha adaptado a los tiempos de pandemia con el llamado Emocrea en casa. Consiste en enseñar de forma divertida, involucrando a padres e hijos y así poder sentir las emociones que están viviendo sus hijos en el proceso de aprendizaje (Dueñas, 2020).

Las metodologías de desarrollo de software imponen una disciplina de trabajo sobre el proceso de desarrollo del mismo, con el fin de conseguir una aplicación más eficiente que monitoree y posteriormente ayude a resolver los problemas emocionales y de conducta en los estudiantes de nivel medio superior y superior mediante las canalizaciones oportunas que fueron detectadas en la aplicación. Por tal motivo, se decide desarrollar una aplicación web para el monitoreo emocional mediante indicadores de temas en redes sociales, para que padres y profesores puedan detectar algo que no funciona adecuadamente, y solicitando a tiempo una evaluación emocional y conductual.

Población y muestra

El Instituto Tecnológico Superior de Centla cuenta con una población estudiantil de 1276 alumnos, según informes proporcionados por la oficina de servicios escolares. Para la obtención de una muestra de la población se utilizó la fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas, pero solo de estudiantes que utilicen la red social Twitter (Ahora X).

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- N = Total de la población
- Z_{α} = 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)
- q = 1 - p (en este caso 1-0.05 = 0.95)
- d = precisión (en la investigación se usó un 50%).

Para obtener el total de la población para la obtención de la muestra, el cuerpo académico llevo a cabo la aplicación de una encuesta a toda la comunidad estudiantil del ITSCe, mediante formulario de Google.

Obteniendo así el número total de la población que utiliza Twitter, a la cual entrevistaremos, usamos una precisión del 50%, para cubrir al menos la mitad de precisión para que los datos de nuestra investigación sean confiables, quedando entonces de la siguiente forma:

$$n = \frac{((510 * 1.96^2) * 0.05 * 0.95)}{(0.5^2 * (510 - 1)) + (1.96^2 * 0.05 * 0.95)} = 220$$

- N = 510
- Z_{α} = 1.96
- p = 0.05
- q = 0.95
- d = 0.5

Fases del proceso de desarrollo de software

Un producto de software es el conjunto de programas informáticos que se desarrollan en el entorno de una computadora (Alonso Amo, Fernando, et al., 2005, p. 75), el desarrollo se ocupa de todas las técnicas del equipo de trabajo y de gestión necesaria para crear el producto.

Cada nueva versión se crea a través de un proceso de desarrollo de software. Típicamente, el proceso se divide en seis fases principales: (1) el análisis y especificación de requisitos, donde se establece qué debe lograr el producto de software; (2) el diseño, que determina cómo cumplirá el software esos requisitos; (3) la puesta en práctica, que crea el producto de software que se ha diseñado (esto combina el desarrollo de nuevos componentes con la reutilización o modificación de componentes anteriores); (4) la prueba, (5) documentación (6) Mantenimiento que garantiza que el producto de software funciona como se pretende (Alonso Amo, Fernando, et al., 2005, p. 78).

Análisis de requisitos

De acuerdo a la recopilación de la información se extrajo los requisitos del producto de software, este es la primera etapa para crearlo. El resultado del análisis de requisitos se plasma en el documento Especificación de Requerimientos del Sistema. La captura, análisis y especificación de requisitos (incluso pruebas de ellos), es una parte crucial; de esta etapa depende en gran medida el logro de los objetivos finales, en ella pudimos obtener el siguiente diagrama ver Figura 1.

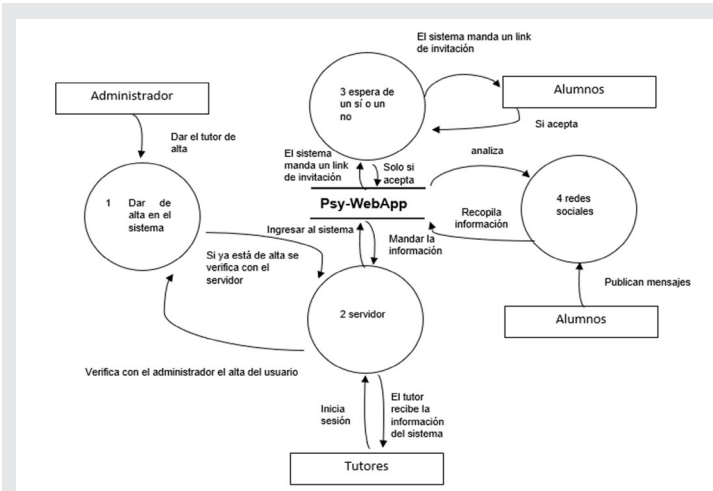


Figura 1. Diagrama de Procesos producto del análisis y especificación de requisitos.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño y arquitectura

En esta etapa se incorporaron consideraciones de la implementación tecnológica, como el hardware, la red, entre otros elementos. Se definen los casos de uso para cubrir las funciones que realizará el sistema, y se transforman las entidades definidas en el análisis de requisitos en clases de diseño, obteniendo un modelo cercano a la programación orientada a objetos, a continuación, presentamos en el siguiente diagrama de casos de usos ver Figura 2.

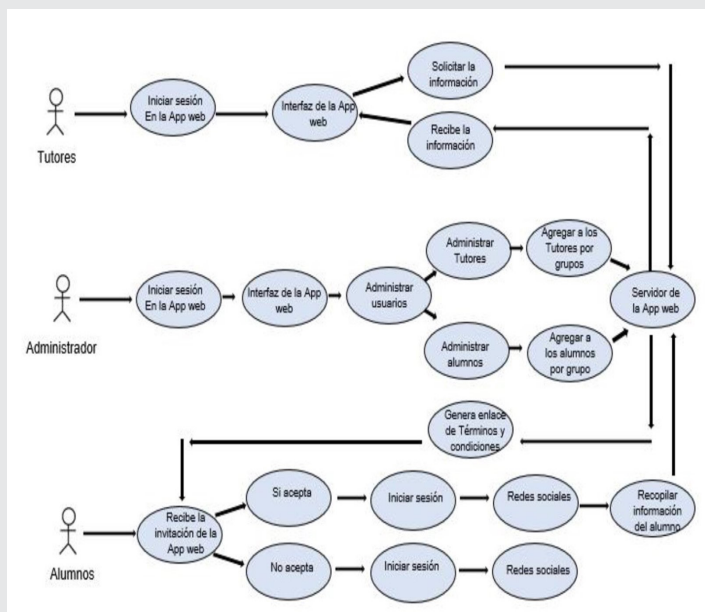


Figura 2. Diagrama de Casos de Uso.

Fuente: Elaboración propia.

Construcción del Software

En esta etapa de construcción del software se desarrolló utilizando las siguientes tecnologías:
 Proyecto:

- Base de datos: MySQL
- Lenguaje: Python 3.6
- Framework: Django 2
- API: Twitter
- Librerías de terceros: TextBlob, googletrans, StringTagger, Phirehose.

Servidor:

- Sistema operativo: CentOS 7
- Servidor Web: Apache 2

Phirehose es una librería que se implementa como una sola clase abstracta que se amplía para utilizar la API de transmisión de Twitter. Esta opción de diseño se hizo para permitir la utilización de la biblioteca con la cantidad mínima de código. La recolección de las palabras claves que generan los estudiantes mediante la red social de Twitter se monitorea de la siguiente manera: Los comentarios se extraen de la cuenta de twitter del Instituto Tecnológico Superior de Centla, esta cuenta: <https://twitter.com/ITSCentla?s=09>.

La aplicación extrae las últimas 25 publicaciones de cada seguidor (tutorado). Y con eso se realiza la evaluación de cada uno. Este proceso es automático ya que gracias a la API de Twitter se recolecta cada hora los datos nuevos, si quisiéramos analizar o ver palabras claves de alguien nuevo (por ejemplo, usted) tendría que seguir a la página del ITSCe y cuando el sistema se actualice, es decir, cada hora recopilará sus publicaciones del nuevo usuario.

Pruebas

En esta fase consiste en comprobar que el software realice correctamente las tareas de búsquedas de palabras claves en la red social de twitter. Para el procesamiento y comprobación de palabras claves se utilizó el lenguaje Python 3.6 y el framework Django 2 para realizar tareas de Recuperación de Información (IR) y Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP).

En esta etapa se realizaron las siguientes pruebas:

- Análisis de fechas de las publicaciones.
- Distribución de frecuencia, se probó los análisis simples y se utilizó como base para muchos otros algoritmos.
- Se analizó de igual manera el funcionamiento de Rapid Automatic Keyword Extraction (RAKE), es un algoritmo para automatizar rápidamente la extracción de palabras clave. Por último, se llevó la última etapa.

Documentación

Todo lo referente a la documentación del propio desarrollo del software y de la gestión del proyecto, pasando por modelaciones (UML), diagramas, pruebas, manuales de usuario, manuales técnicos, etc. Quedaron debidamente documentados.

Mantenimiento

El propósito de esta fase fue de asegurar que el software esté disponible para los usuarios finales, que en este caso serán los tutores del Instituto Tecnológico Superior de Centla, se corrigieron los errores y defectos encontrados en las pruebas de aceptación, capacitar a los usuarios y proveer el soporte técnico necesario.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el Desarrollo de la aplicación web durante el proyecto de investigación en esta primera etapa.

Administrador, Tutores y estudiante

En el siguiente diagrama de actividades se describe la totalidad de las funciones que hacen el administrador, el tutor y los alumnos por parte de la aplicación web ver Figura 3.

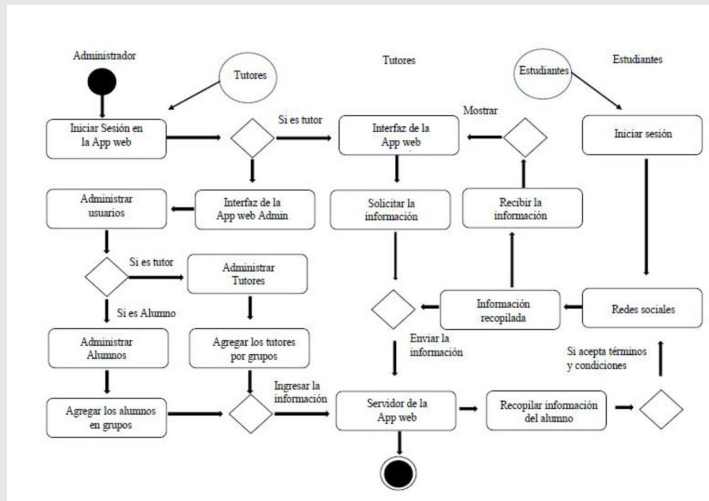


Figura 3. Diagrama de actividades de la funcionalidad de la aplicación web.
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama relacional de la base de datos

Es necesario diseñar una base de datos para especificar el alojamiento de los datos que se presenta en los casos de uso.

En el siguiente diagrama se muestra los datos y sus relaciones que conllevará la aplicación web ver Figura 4.

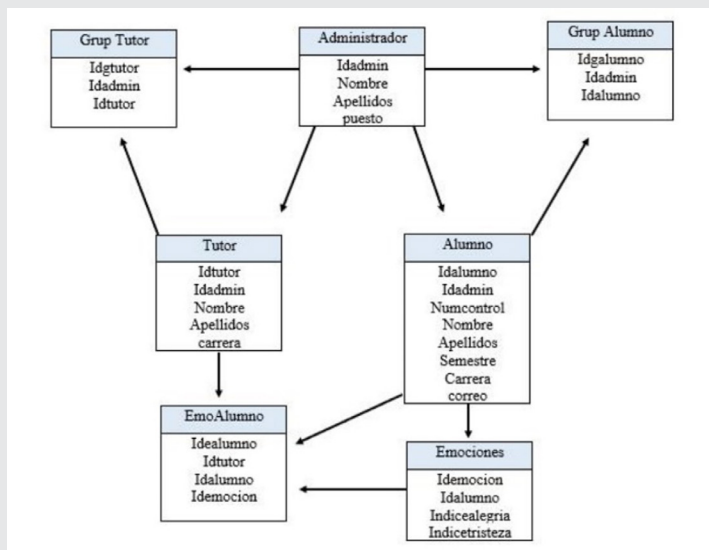


Figura 4. Diagrama relacional de la base de datos.
Fuente: Elaboración propia.

La recolección de las palabras claves de las publicaciones de los estudiantes que se están monitoreando en la red social, se realiza mediante la API de Twitter (X en este momento), y todas las palabras claves obtenidas es almacenada en un archivo de texto para que Rapid Automatic Keyword Extraction (RAKE) realice la ejecución del algoritmo en donde se compara entre las palabras clave obtenidas con su respectiva frecuencia y es ligada en la base de datos en la Tabla emociones del estudiante, el objetivo es solo contabilizar el número de veces de frases o palabras genera el estudiante

para posteriormente sea monitoreado en las estadísticas de emociones que es representado por colores.

Aplicación web para el monitoreo emocional

Mencionar que este proyecto se encuentra en una primera etapa, es decir, solo se presenta en estos momentos la aplicación web; En una segunda etapa se tiene contemplado operar los resultados estadísticos que genere la aplicación y las estrategias que implementará el programa institucional de tutorías para contrarrestar los problemas emocionales que se presentan en los estudiantes de la institución educativa.

La aplicación refleja el porcentaje de estudiante donde se evalúan sus emociones y conductas, en esta pantalla podremos ver la estadística general de los estudiantes, identificándolos con colores correspondientes a la estadística, es decir, el color amarillo sirve para identificar a aquellos estudiantes con problemas de alcoholismo que influyen dentro o fuera de la institución, el color rojo si presenta conductas agresivas, el color azul para identificar a los estudiantes con problemas depresivos escolar o social, el color negro si presenta algún descontrol emocional fuerte y que pudiera llevar al suicidio y el color azul se considera que presenta una conducta normal ver Figura 5.

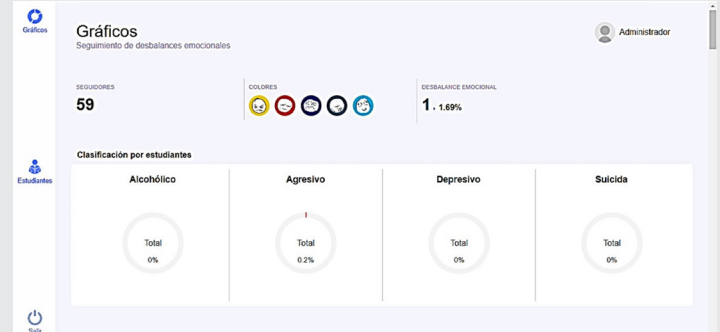


Figura 5. Pantalla de Monitoreo emocional y de conducta de los estudiantes del Tecnológico Nacional de México, Campus Centla.
Fuente: Elaboración propia.

Mencionar que en ningún momento se viola la privacidad del estudiante, el tutor solo monitorea al tutorado que tenga asignado en ese momento ver Figura 6.



Figura 6. Monitoreo de estudiantes a través de la aplicación.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta aplicación web en su primera parte, tendrá un beneficio directo y este se verá reflejado en los estudiantes, ayudando a que los tutorados se sientan valorados y con atención por parte de sus tutores, hacerle sentir que no están solos y cuentan con ayuda; dicha estrategia impactará en su nivel académico mediante cursos remediales y talleres que se puedan impartir detectando a tiempo los problemas emocionales que presente el estudiante y a través del programa de tutorías dar seguimiento en sus calificaciones semestrales.

Señalar que con este proyecto el Instituto Tecnológico Superior de Centla (ITSCe) sería una de las pocas instituciones que estarían aportando a la disminución de índice de suicidios, toda vez que pocas instituciones realizan este tipo de actividades dirigidas a los jóvenes estudiantes, el beneficio se verá reflejado de muchas maneras ya que siendo una institución de educación superior las posibilidades de abarcar a jóvenes serían mayores, también sería punta de lanza para que las demás instituciones tomen la iniciativa.

En la segunda etapa del proyecto, se utilizarán los datos recolectados en los estudiantes para implementar acciones tutoriales que coadyuven al fortalecimiento personal y profesional del tutorado, a través de una investigación mixta (cuantitativa y cualitativa).

BIBLIOGRAFÍA

[1] Hernández Bejarno, M. (2020). *Ciclo de vida de desarrollo ágil de software seguro: (ed.)*. Fundación Universitaria Los Libertadores. <https://elibro.net/es/lc/centla/titulos/197008>.

[2] Alfonso Águila, Belkis, Calcines Castillo, María, Monteagudo de la Guardia, Roxana, & Nieves Achon, Zaida. (2015). *Estrés académico*. EDUMECENTRO, 7(2), 163-178. Recuperado en 29 de febrero de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742015000200013&lng=es&lng=es.

[3] Centro de Ayuda de Twitter. (2020). *Información sobre las API de Twitter*. Obtenido de [help.twitter.com](https://help.twitter.com/es/rules-and-policies/twitter-api).

[3] Dueñas, A. (2020). *Educación emocional y tecnología en tiempos de coronavirus*. Obtenido de [educaweb.com](http://educaweb.com/noticia/2020/05/27/educacion-emocional-tecnologia-tiempos-coronavirus-19206/).

[4] M., K., Vergara, A., Díaz Cárdenas, S., & González Martínez, F. (febrero de 2014). *Síntomas de depresión y ansiedad en jóvenes universitarios: prevalencia y factores relacionados*. Obtenido de [scielo](http://scielo.org):

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2014000100003.

[5] Alarcón Barbán, E. y Duvergel Cobas, Y. (2017). *Propuesta de un sistema de evaluación virtual para la asignatura de comercio electrónico*. 3C TIC: Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC, 6(3), 61-67. DOI: <<http://dx.doi.org/10.17993/3c-tic.2017.57.61-67/>>.





Bioquímica
y
Biológicos

Ingeniantes

Efecto del estrés hídrico sobre la germinación y crecimiento de plántula de semillas del árbol de Cachichin (*Oecopetalum mexicanum*)



Colaboración

José Guillermo Franzua-Perdomo; Melissa Paola Gracia-Anaya; Gabriel Grosskelwing-Nuñez; Arturo Cabrera-Vázquez, Arturo Cabrera-Hernández, Tecnológico Nacional de México / campus Misantla

Fecha de recepción: 08 de abril de 2024

Fecha de aceptación: 08 de abril de 2024

RESUMEN: El árbol de Cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), nativo de las regiones serranas del sureste mexicano produce un fruto comestible con alto contenido de aceite de relevancia local. Este estudio se enfocó en mejorar su propagación mediante la evaluación de los efectos de almacenamiento y pérdida de humedad de la semilla sobre el crecimiento de sus plántulas. Semillas recién cosechadas fueron secadas a temperatura ambiente y sembradas a intervalos de una semana en invernadero, sujetas a tres niveles de riego con soluciones acuosas conteniendo concentraciones de 0, 50 y 100 mg/L de ácido gibberélico (GA_3). La emergencia de plántulas (EP) alcanzó el 90% en semillas frescas, pero disminuyó severamente con el almacenamiento y la reducción de humedad. Aunque la adición de GA_3 tuvo un leve impacto positivo en la EP, acortó el tiempo de emergencia. No se detectaron diferencias significativas en longitud de raíz ni área foliar, solo una ligera reducción en longitud del tallo. Se infiere un comportamiento recalcitrante para las semillas de Cachichín debido a su alta sensibilidad al secado y su limitada respuesta al GA_3 , aspecto crucial para programas de propagación.

PALABRAS CLAVE: Cachichin, *Oecopetalum mexicanum*, semilla recalcitrante, ácido gibberélico.

ABSTRACT: The Cachichin tree (*Oecopetalum mexicanum*), native to the mountain regions of southeastern Mexico, produces an edible fruit with high oil content of local relevance. This study focused on improving its propagation by evaluating the effects of seed storage and moisture loss on the growth of its seedlings. Freshly harvested seeds were dried at room temperature and sown at one-week intervals in a greenhouse, subject to three levels of irrigation with aqueous solutions containing concentrations of 0, 50 and 100 mg/L of gibberellic acid (GA_3). Seedling emergence (SE) reached 90% in fresh seeds, but decreased severely with storage and humidity reduction. Although the addition of GA_3 had a slight positive impact on SE, it shortened the emergence time. No significant differences were detected in root length or leaf area, only a slight reduction in stem length. A recalcitrant behavior is inferred for Cachichin seeds due to their high sensitivity to drying and their limited response to GA_3 , a crucial aspect for propagation programs.

KEYWORDS: Cachichín, *Oecopetalum mexicanum*, recalcitrant seed, gibberellic acid.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los ecosistemas terrestres enfrentan considerables desafíos debido a los efectos del cambio climático, las problemáticas ambientales globales y las actividades humanas [1]. Esta situación compromete el delicado equilibrio entre la integridad de los ecosistemas y la composición vegetal, poniendo en riesgo la supervivencia de numerosas especies vegetales [2]. Uno de los ecosistemas con mayor riesgo de modificar o perder su biodiversidad son los bosques tropicales los cuales sostienen y albergan al menos

dos tercios de la biodiversidad del mundo a pesar de cubrir solo el 10% de la superficie terrestre [3,4]. Este riesgo se ve agravado por la ubicación de estos bosques en países en desarrollo, donde la gestión de los recursos naturales no siempre se alinea con los objetivos de desarrollo económico [5]; por consiguiente es imperativo establecer estrategias locales para la gestión sostenible de los recursos naturales que concilien el cuidado de los ecosistemas con el desarrollo socioeconómico y cultural de las comunidades locales a fin de fortalecer las economías locales y preservar la biodiversidad [6].

El Cachichín (*O. mexicanum*) es una especie de la familia Metteniusaceae distribuida desde Veracruz hasta Costa Rica, cuyo fruto contiene una almendra comestible de forma ovoide, blanda, blanca y de sabor amargo con un alto contenido de aceite, la cual se desarrolla en bosques primarios en ecotonos de bosque caducifolio y selva alta perenifolia. En la región de Misantla, Veracruz, México, se consume hervida y tostada y se comercializa de manera local [7]. Su manejo, uso y conservación ha sugerido incluirla como "especie vegetal cultural clave", por el importante papel ecológico, nutricional, social y económico que tiene para los habitantes de la región biocultural de Misantla [8].

El árbol aún se encuentra en estado silvestre, aunque empieza a estar sujeto a domesticación a través del desarrollo de cachichinales, un sistema de manejo que permiten promover el cultivo, la protección y la explotación de esta especie en su propio ecosistema. A la fecha se ha establecido la composición y propiedades físico-químicas de la semilla [9], el nivel de toxicidad aguda-oral de su aceite [10], la anatomía y resistencia de la madera del árbol [11], su importancia cultural y ecológica [12] así como potenciales propiedades antifúngicas de sus extractos etanólicos [13], sin embargo, un aspecto fundamental del uso, aprovechamiento, conservación y propagación de esta especie es establecer el modelo de comportamiento de la semilla durante la germinación y el crecimiento de la plántula.

Hernández-Mora y colaboradores reportan un porcentaje de germinación del 8% con tiempos de germinación de 30 a 35 días aplicando un tratamiento pregerminativo de hidratación de 12 a 24 horas para acelerar y sincronizar el proceso [9,14]. Estudios en campo sobre las prácticas de propagación de esta especie reportan la dificultad de los productores para lograr su germinación, por lo anterior, es necesario establecer el comportamiento germinativo de la semilla de Cachichín posterior a su disseminación, y su habilidad para permanecer en latencia o desarrollar resistencia al estrés hídrico, aspectos fundamentales para el establecimiento de programas de propagación y cultivo exitosos [15].

El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar la tolerancia a la deshidratación de esta semilla durante la germinación así como el efecto en la respuesta a la emergencia y el crecimiento de la plántula, aspectos fundamentales para el establecimiento de programas de propagación y conservación de esta especie a largo plazo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material biológico

Las semillas de Cachichín fueron recolectadas de árboles adultos saludables en la localidad de Vicente Guerrero (19° 51' 52.36" Norte, 96° 50' 37.89" Oeste), municipio de Misantla, Veracruz, México. Un total de 800 semillas fueron recolectados en la mañana por habitantes de la región. Por su dispersión balística, fue factible estandarizar el punto de maduración al recolectar semillas de Cachichín recién desprendidas del árbol, caracterizadas por el color verde de las semillas y un anillo rojo en el extremo donde se desprendió la semilla. Las semillas fueron transportados al laboratorio en bolsas de plástico. Cada semilla fue caracterizada biométricamente empleando una balanza analítica Mettler, modelo AE166 y se midió su diámetro axial y radial con ayuda de un vernier electrónico digital, marca Vizbrite.

Acondicionamiento de semillas

A fin de garantizar una representación equitativa de las semillas recolectadas, se realizó un muestreo por estratificación simple al azar, obteniendo 24 lotes de 33 semillas cada uno, las cuales se colocaron sobre papel filtro en charolas abiertas de plástico con dimensiones de 60 x 40 cm, en charolas y se secaron de forma natural en condiciones ambientales (humedad relativa de 55% a 70% y temperatura entre 26°C y 32 °C). Grupos de tres lotes fueron seleccionados y sembrados semanalmente en tierra conforme a las directrices del diseño experimental.

Secado de las semillas de Cachichín

Muestras de tres semillas tomadas al azar para cada uno de los 24 lotes se les determino el perfil de pérdida de humedad por diferencia de peso a intervalos de seis horas durante los primeros seis días, y a intervalos de 24 horas por los siguientes 9 días. Los datos del porcentaje de humedad obtenido fueron ajustados a cuatro modelos de secado previamente aplicados al secado de semillas: modelo de Lewis; modelo de Henderson y Pabis, modelo de Page y Avhad así como el modelo de Marchetti [16], aplicando mínimos cuadrados no lineales optimizados con algoritmos genéticos con población inicial de 120 individuos, 100 generaciones, probabilidad de cruce del 80% y probabilidad de mutación de 0.1. Para evaluar la calidad del ajuste se aplicaron la prueba de bondad de ajuste de Xi cuadrada y se determinó el coeficiente de determinación, media del error absoluto y error estándar de estimación.

Finalmente, cada semilla se les determino el contenido de humedad residual aplicando el método gravimétrico AOAC 925.10, basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante [17].

la fórmula del área de una elipse: $\text{Área} = \pi * a * b / 4$, donde "a" y "b" son la longitud del eje mayor y menor de cada hoja, respectivamente.

Diseño experimental en parcelas divididas

El diseño experimental evaluó los efectos de dos variables de entrada, humedad residual de semilla y la concentración de ácido giberelico sobre cuatro variables de salida, porcentaje de plántulas que emergen de la superficie del suelo (la cual fue considerada como semilla germinada), longitud de tallo, longitud de raíz y área foliar de la plántula. Se propuso un diseño experimental en parcelas divididas (split-plot), el cual tiene el siguiente modelo matemático:

$$y = \mu + \alpha_1 + \omega_{(i)} + \beta_k + \alpha\beta_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde $\omega_{(i)}$ corresponde al efecto del i-esimo nivel del factor de parcela y corresponde al error de parcela. β_k corresponde al factor tiempo.

Sin considerar la media general, estos primeros dos efectos se refieren a la parcela. Los últimos tres corresponden a la subparcela, donde α_i es el efecto del j-ésimo nivel del factor de tratamiento. Para el caso de estudio, se considera como factor de parcela el intervalo entre su cosecha y el momento de su siembra. El factor de bloque es el tratamiento hormonal. Se propusieron 8 niveles para el factor de parcela, cada uno de ellos integrado por tres unidades experimentales (Tabla 1) Los diferentes estratos se establecieron de manera independiente a intervalos de siembra de siete días durante el curso de tiempo que duró el estudio experimental.

Para el caso del factor de bloque, se integraron 24 unidades experimentales, en grupos de 30 macetas (A, B, C), cada una con tres semillas de Cachichín. Las macetas del grupo A fueron sometidas a un régimen de riego con agua purificada. El grupo B se regó con una solución acuosa de 50 mg/L de BIOGIB 10PS, un estimulante de crecimiento vegetal hecho a base de ácido giberélico (GA_3) (Arysta lifescience México, S.A. de C.V.) y el grupo C con solución acuosa de 100 mg/L de BIOGIB 10PS.

Análisis estadísticos

Para el análisis de la emergencia de plántulas a partir de semillas de Cachichín se evaluaron el porcentaje de emergencia y el tiempo medio de emergencia de la plántula (17) se aplicó la siguiente ecuación:

$$TMEP = (T1N1 + T2N2 + \dots + TnNn) / N$$

Donde:

TMEP: Tiempo medio de emergencia de plántula.

Tn = número de días transcurridos desde el inicio del cultivo hasta el día n

Nn= número de plántulas que emergieron hasta el día n

N = número total de plántulas que emergieron.

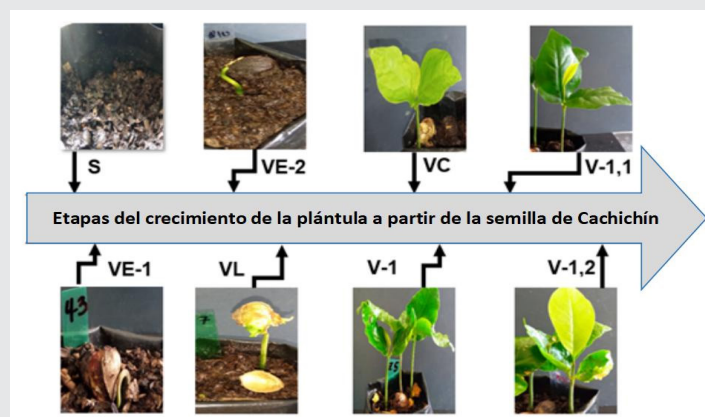


Figura 1. Estadios de desarrollo durante la germinación y crecimiento inicial de la plántula de Cachichin (*O. mexicanum*). Se muestran imágenes de las etapas de desarrollo desde la siembra de la semilla (S) hasta su fase vegetativa (V), abarcando la emergencia del coleóptilo sobre la superficie del suelo (VE-1; VE-2), la emergencia de los cotiledones dentro de la cubierta seminal (VL), despliegue de cotiledones para formar hojas embrionarias (VC) y la aparición del primer nudo y las hojas verdaderas (V1; V1,1; V1,2).

Fuente: Elaboración propia.

Siembra de semillas de Cachichín en tierra

Grupos de tres semillas de Cachichín se sembraron en macetas comerciales de plástico que contenían 800 gramos de tierra a 1 cm de profundidad. La tierra empleada se obtuvo de la localidad de Vicente Guerrero, reconocida por su densidad arbórea de Cachichín y como área de producción de semillas, siendo mezclada mecánicamente previa a su uso.

Las macetas se incubaron bajo condiciones de iluminación y temperatura ambiente dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Veracruz, México (coordenadas geográficas: 19° 57' 01.36" Norte, 96° 50' 37.89" Oeste), altitud de 298 m sobre el nivel del mar, caracterizada por un clima subtropical húmedo con una temperatura media anual máxima promedio de 32 °C y mínima de 22 °C. Se siguió un régimen de riego de tres veces por semana.

Se realizaron observaciones semanales del desarrollo de las plantas hasta la semana 12 después de la siembra (Figura 1, estadio V-1,2). Se considero como germinadas aquellas semillas donde el hipocótilo emergió de la superficie del suelo con los cotiledones (estadio VE-1). Al final de la semana 12, se extrajeron las plántulas del suelo y se midieron la longitud del tallo (desde el suelo hasta el ápice de la última hoja), la longitud de la raíz (desde el suelo hasta el meristemo apical de la raíz) y el área foliar. El área foliar se calculó utilizando

Tabla 1. Matriz de confusión del porcentaje de precisión.

| Tiempo de secado (semanas) | Concentración de hormona (mg/L) | | |
|----------------------------|----------------------------------|----|-----|
| | A | B | C |
| 0 | 0 | 50 | 100 |
| 1 | 0 | 50 | 100 |
| 2 | 0 | 50 | 100 |
| 3 | 0 | 50 | 100 |
| 4 | 0 | 50 | 100 |
| 5 | 0 | 50 | 100 |
| 6 | 0 | 50 | 100 |
| 7 | 0 | 50 | 100 |

Nota: Se definió el factor de parcela como el lapso entre la recolección del fruto de Cachichin y el momento de su siembra (tiempo de secado). El factor de bloque consistió en el tratamiento hormonal con ácido giberélico (GA₃)

El acopio de datos se realizó empleando el programa de EXCEL® 2016, y el análisis estadístico inferencial empleo el software libre "R". Los datos de los diferentes tratamientos se analizaron para evaluar datos atípicos y se comprobó la normalidad aplicando la prueba de Shapiro-Wilks y homocedasticidad con la prueba de Levene. Para determinar si existen diferencias significativas entre la media del control y al menos una de las concentraciones aplicadas, se aplicó el análisis ANOVA (p<0.05). Para determinar qué grupos específicos son significativamente diferentes entre sí se aplicó la prueba post-hoc de Tukey. Las diferencias significativas de medias se señalan con un asterisco en la parte superior de cada punto en la gráfica.

RESULTADOS

Estudio biométrico de las semillas

Se determinó el peso y tamaño para la semilla completa de un total de 2,600 semillas y para un subconjunto de 100 semillas se determinaron estos valores en la almendra. Los resultados se detallan en la Tabla 2, donde se muestra un peso promedio para la semilla completa de 2.2751 gr ± 0.3429 y para la almendra de 1.3374 gr ± 0.2642. Además, se incluyen los valores de diámetro longitudinal, así como el diámetro axial mayor y menor, tanto para la semilla completa como para la almendra, junto con sus respectivos intervalos de variación. También se incluye el valor del grosor de la cascara. Estos hallazgos son consistentes con estudios biométricos previamente reportados [9].

Tabla 2. Análisis biométrico del fruto y almendra de *O. mexicanum*.

| | Datos de semillas | Datos de almendra |
|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Peso (gr) | 2.2751 | 1.3374 |
| Longitud (mm) | 20.00 | 14.29 |
| Diámetro axial 1 (mm) | 16.13 | 12.42 |
| Diámetro axial 2 (mm) | 14.35 | 10.45 |
| Grosor de la cascara (mm) | 0.84 | |

Diversos estudios han establecido correlaciones entre diversas variables de la planta o de su hábitat a fin de predecir la sensibilidad de una semilla a la desecación. Daws M.I. y colaboradores [26] han sugerido que las semillas recalcitrantes con sensibilidad a la deshidratación,

exhiben características específicas. Estas semillas tienden a tener un tamaño grande, superior a 0.5 g con una forma que varía de esférica a esferoidal. Generalmente se encuentran en hábitats con alta humedad y muestran una baja relación entre la masa de la cubierta (endocarpio y testa) y la masa total de la semilla, conocida como relación SCR. Además, tienden a desprenderse con altos contenidos de agua [25, 26].

Dado el hábitat de alta humedad y el origen tropical del árbol de Cachichín, así como un peso promedio superior a los 2 gramos (Tabla 2), una forma esferoidal y una cubierta delgada con un SRC estimado de 0.4; sugiere en base a estas características que las semillas de Cachichín exhiben un comportamiento recalcitrante, caracterizado por una alta susceptibilidad a la pérdida de humedad, lo cual podría comprometer significativamente su viabilidad así como el proceso de germinación, como se ha observado en otros modelos de semillas recalcitrantes [26]. Lo anterior podría explicar el bajo porcentaje de germinación reportado previamente para estas semillas.

Para evaluar esta hipótesis, se propuso determinar el perfil de secado de esta semilla bajo condiciones ambientales así como la respuesta a la germinación en función de la pérdida de humedad, considerando la emergencia de la plántula como señal de germinación de la semilla.

Secado de la semilla de Cachichín

La Figura 2 presenta el comportamiento del perfil para los datos experimentales del porcentaje de humedad en función del tiempo de secado para la semilla de Cachichín.

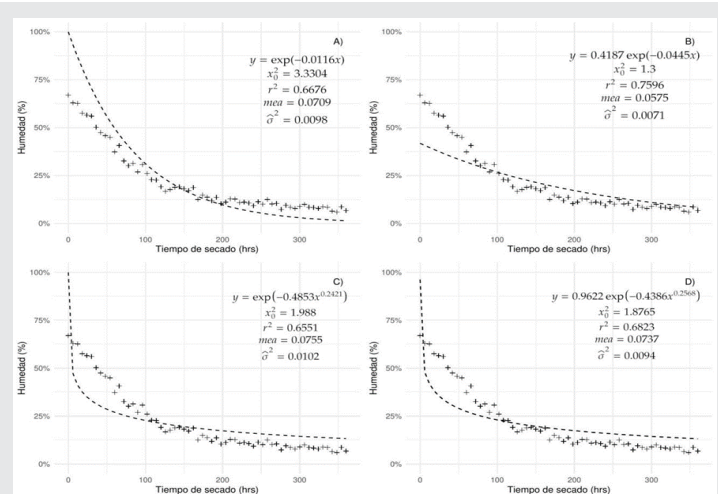


Figura 2: Perfil de la cinética de secado de semillas de Cachichín (*O. mexicanum*). Se presenta el porcentaje de humedad en función del tiempo de secado. La línea punteada representa el ajuste estimado para cuatro modelos de secado; modelo de Lewis (panel A), Henderson and Pabis (panel B), Page y Avhad (panel C) y Marchetti (panel D). Los coeficientes de ajuste numéricos se presentan en el recuadro correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa el perfil de ajuste estimado para cuatro modelos de secado; modelo de Lewis (panel A), modelo de Henderson and Pabis (panel B), modelo de Page y Avhad (panel C), y modelo de Marchetti (panel D) así como los valores numéricos de los coeficientes utilizados para evaluar la calidad del ajuste de los datos experimentales a los modelos propuestos (27), los cuales incluyen el coeficiente de ajuste para chi cuadrada (χ_o^2), el coeficiente de determinación (r^2), la media del error absoluto (mea) y el error estándar de estimación ($\hat{\sigma}^2$).

Los datos experimentales revelan un comportamiento no lineal descendente, que comienza con un contenido de humedad alto del 66 % y experimenta una pérdida sustancial en los primeros cuatro días. Después de 150 horas (6 días), el perfil cinético muestra un comportamiento asintótico, alcanzando un valor aproximado de humedad residual del 11 %. El modelo de Henderson and Pabis demostró la mejor calidad de ajuste, con los valores más bajos de chi cuadrada de ajuste (χ_o^2), media del error absoluto (mea), error estándar de estimación ($\hat{\sigma}^2$) y un coeficiente de determinación (r^2) de 0.759. Aunque este valor está por debajo del mínimo aceptable de 0.97 sugerido para la cinética de secado de semillas de ricino [18], es importante considerar que las condiciones de secado fueron ambientales y que la semilla experimenta cambios morfológicos y bioquímicos en las etapas iniciales de la cinética de secado, como el cambio de color verde a café en un lapso de 48 horas tras la separación de la semilla del árbol, así como modificaciones en la textura y dureza de la cubierta. Sin embargo, las condiciones de secado a que fueron sometidas las semillas son similares a las que se encuentra en su hábitat natural.

Potencia de emergencia de plántulas de *O. mexicanum*

Semillas de Cachichín sometidas a secado durante 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 48 días fueron sembradas en tierra y el porcentaje de emergencia de plántulas fue contabilizado durante las siguientes 11 semanas. En la Figura 3, panel A, se presentan las gráficas que muestran el porcentaje de emergencia de plántulas en función del tiempo para cada periodo de secado. Se observa que las semillas sembradas inmediatamente después de la recolección (0 días de secado) alcanzan un porcentaje de emergencia cercano al 90%. Sin embargo, las semillas que fueron sometidas a uno, dos y tres semanas de secado mostraron una disminución en el porcentaje de emergencia por debajo del 30%. Para las semillas sembradas después de cuatro y cinco semanas de secado, los valores de emergencia alcanzados fueron del 11.11% y 3.33%, respectivamente. Para semillas con mayores semanas de secado, no se observaron brotes de plántulas. La relación inversa entre el tiempo de

secado de las semillas y el porcentaje de emergencia de plántulas, sugiere una sensibilidad a la desecación de la semilla de Cachichín posterior a su cosecha, rasgo asociado a un comportamiento recalcitrante de la semilla [19]. Adicionalmente, se observa un retraso en el tiempo medio de emergencia de plántulas (*TMEP*), al incrementarse el periodo de secado de la semilla.

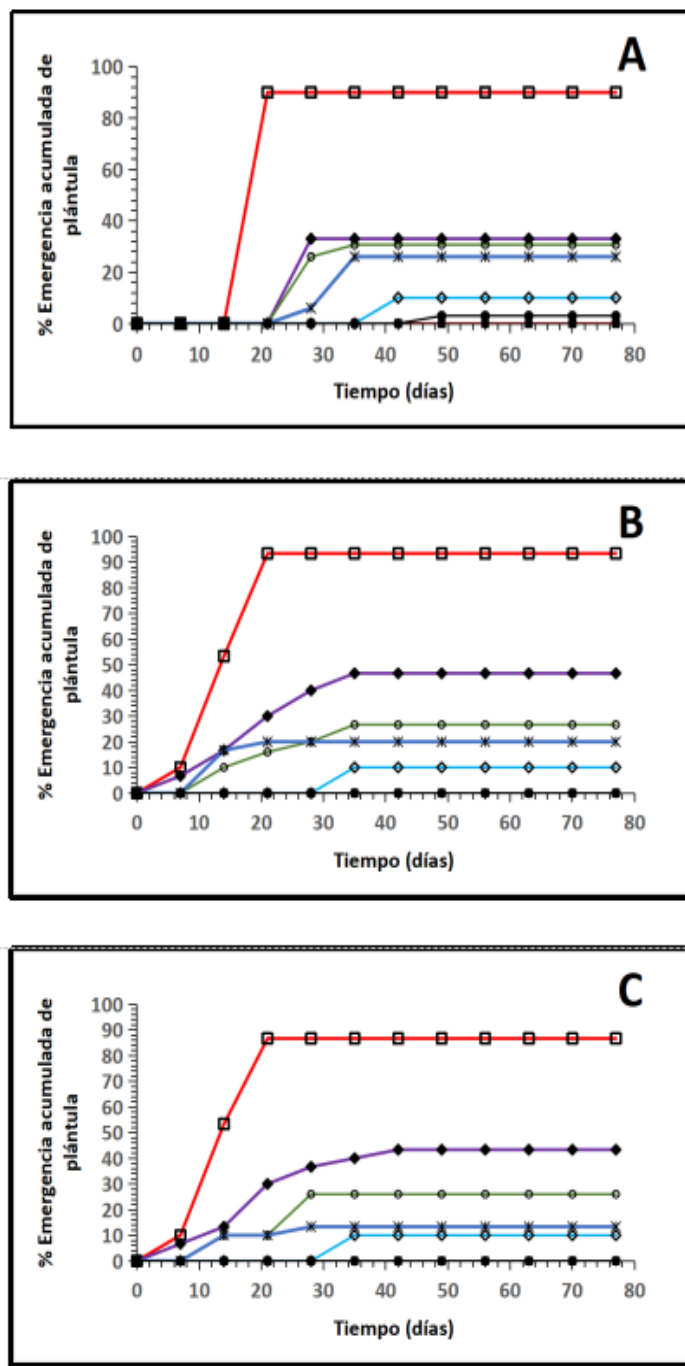


Figura 3. Porcentaje acumulado de emergencia de plántulas de Cachichín para diferentes periodos de secado de la semilla. Los periodos evaluados fueron 0 (□), 7 (◆), 14 (○), 21 (✱), 28(◇), 35 (●), 42 (■) y 48 (▲) días, bajo tres tratamientos hormonales: grupo control sin hormona (A), concentración de ácido giberélico (GA₃) a 50 mg/L (B) y 100 mg/L (C).

Fuente: Elaboración propia

En la semana 12 posterior a la siembra de la semilla, las semillas que no germinaron fueron recuperadas y analizadas. En el exterior presentaron buen estado y una cubierta íntegra con su característica dureza; sin embargo, al interior la almendra había perdido su particular consistencia, tornándose en una mezcla espesa de olor desagradable, indicio de la pérdida de viabilidad de la semilla ya que al permanecer por tiempos prolongados de tiempo en tierra con alta humedad, se promueve la proliferación de microorganismos, comportamiento característico de semillas del tipo recalcitrantes que por su alto contenido de humedad limita seriamente su almacenamiento [20, 21].

Efecto de adición de ácido giberélico (AG₃) en la emergencia de plántulas de *O. mexicanum*

El estudio investigó la relación entre la adición de ácido giberélico (AG₃) y la emergencia de plántulas de Cachichín, dada la influencia de esta hormona en la germinación al liberar la latencia de las semillas [22]. Las semillas se sumergieron en soluciones acuosas de AG₃ a concentraciones de 50 y 100 mg /L antes de la siembra (Figura 3B y 3C), adoptando un régimen de riego con estas soluciones. Se observó que para semillas recién recolectadas, los tratamientos con AG₃ no afectaron el porcentaje de emergencia de plántulas (EP) comparado al grupo control (Figura 3A), aunque redujeron el tiempo medio de emergencia (TMEP), observando la emergencia del hipocotilo a los 16 días posteriores a la siembra, comparado a los 21 días que tardó en ausencia de esta fitohormona. Sin embargo, para semillas secadas durante 7 días, se registró un aumento en el porcentaje de germinación con ambos tratamientos de AG₃, alcanzando el 46.67 y 43.33 % de EP en contraste con el 26.67 % obtenido sin la hormona, así como una emergencia más temprana del hipocotilo.

Aunque se mantuvo la temprana aparición de brotes en los tratamientos con AG₃, no se observaron incrementos adicionales en el porcentaje de EP. Los hallazgos presentados discrepan con investigaciones anteriores, donde la aplicación de ácido giberélico (AG₃) ha demostrado fomentar la ruptura de la latencia y estimular la germinación en semillas ortodoxas, como en *Fraxinus hupehensis* [22], así como en semillas con características recalcitrantes, por ejemplo, en *Panax notoginseng*, donde la adición de AG₃ redujo el proceso post-cosecha y promovió la germinación [23]. Una comparación de las concentraciones de AG₃ empleadas en este estudio con las reportadas en la literatura sugiere que la dosis utilizada se sitúa por debajo de los niveles necesarios para que la fitohormona ejerza sus efectos. Es factible que la concentración utilizada en este estudio haya sido insuficiente para facilitar la difusión interna del AG₃ y su consiguiente influencia en el proceso de germinación.

Efecto del secado de la semilla de Cachichín sobre el crecimiento de la plántula

Se investigó el impacto del secado de semillas en tres aspectos del crecimiento de plántulas: longitud de raíz, longitud de tallo y área foliar. En la Figura 4A se obser-

van los valores obtenidos para la longitud de la raíz, esta variable mostró una ligera disminución con el tiempo de secado, pero sin significancia estadística. La adición de las dos concentraciones de fitohormona (AG₃) tampoco promovieron diferencias significativas.

La longitud de tallo mostró una tendencia decreciente no significativa excepto en plántulas proveniente de semillas con cuatro semanas de secado, el cual disminuyó significativamente (Figura 4B).

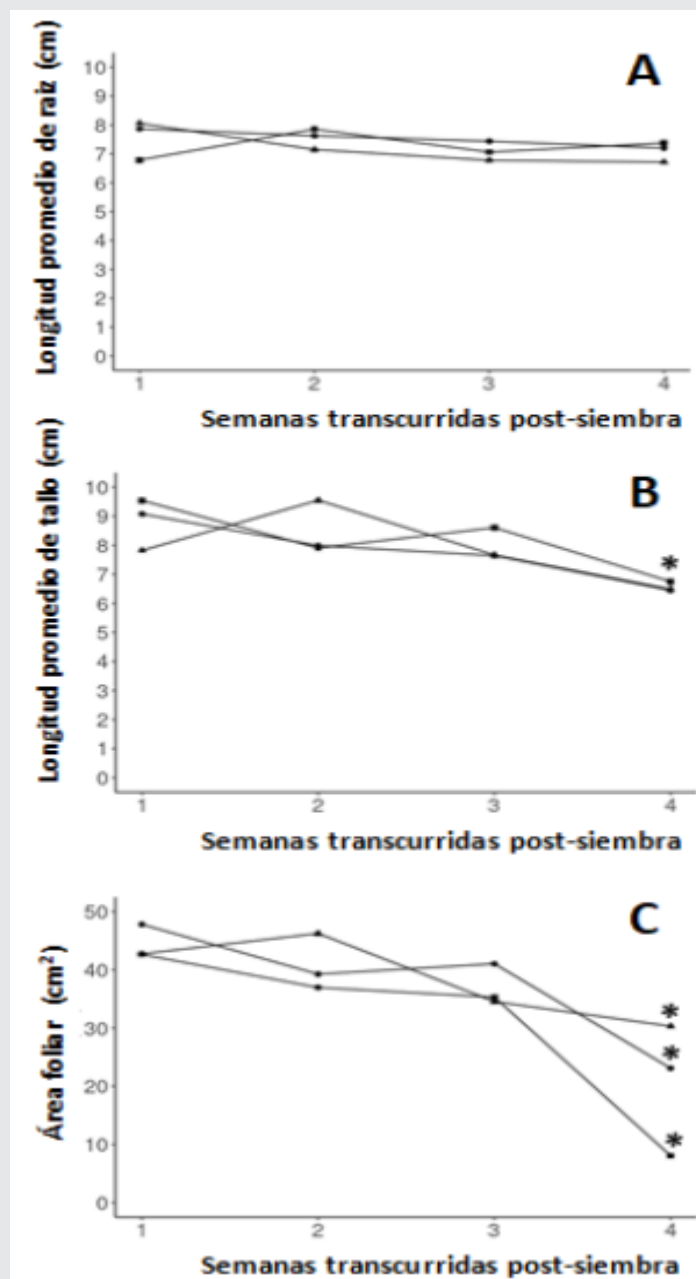


Figura 4. Valores promedio de longitud de raíz (panel A), tallo (panel B) y área foliar (panel C) de plántulas de Cachichín después de 12 semanas post siembra. Plántulas de Cachichín obtenidas a partir de semillas con 1, 2, 3 y 4 semanas de secado fueron tratadas con la concentración de ácido giberélico (GA₃) a 50 mg/L (●), 100 mg/L (■) y sin hormona (▲). Con un asterisco se muestran diferencias significativas ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

El área foliar no varió entre plántulas de semillas secadas durante 1, 2 o 3 semanas, con o sin fitohormonas. Sin embargo, las plántulas de semillas secadas durante cuatro semanas mostraron una disminución significativa en el área foliar en comparación con las de menor tiempo de secado, así como una disminución significativa frente a la presencia de hormona. Lo anterior sugiere que la calidad de la plántula no se ve comprometida al perder humedad la semilla, siendo el almacenamiento por cuatro semanas el factor que afecta el área foliar de la plántula.

CONCLUSIONES

El hábitat donde germina la semilla de Cachichin, sus características biométricas y una notable sensibilidad a la desecación que compromete severamente su capacidad para promover la formación de una nueva plántula sugiere que la semilla presenta rasgos que distinguen a las semillas recalcitrantes [24] lo cual se relaciona con los bajos porcentajes de propagación que estudios previos y diversos productores han señalado.

Al presentar estas características, el almacenamiento y la conservación de semillas recalcitrantes representan un desafío ya que requieren métodos especiales para mantener su viabilidad a largo plazo [25]. Las características reportadas en este estudio, deben ser consideradas durante el desarrollo de programas de propagación y reforestación de esta especie, así como para el mantenimiento de la viabilidad de esta semilla en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Prakash, S., & Verma, A. K. (2022). *Anthropogenic activities and Biodiversity threats. International Journal of Biological Innovations, IJBI*, 4(1), 94-103.

[2] Nolan, C., Overpeck, J. T., Allen, J. R., Anderson, P. M., Betancourt, J. L., Binney, H. A., ... & Jackson, S. T. (2018). *Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. Science*, 361(6405), 920-923.

[3] Roe, D., Seddon, N and Elliott, J (2019) *Biodiversity loss is a development issue: a rapid review of evidence. International Institute for Environment and Development (IIED) Issue Paper. IIED, London.*

[4] Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Piiego, P., Hansen, A. J., Watson, J. E., & Venter, O. (2022). *Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(1), 10-15.

[5] Giam, X. (2017). *Global biodiversity loss from tropical deforestation. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(23), 5775-5777.

[6] Ferrer-Paris, J. R., Zager, I., Keith, D. A., Oliveira-Miranda, M. A., Rodríguez, J. P., Josse, C., González-Gil M., Miller R.M., Zambrana-Torrelli C. & Barrow, E. (2019). *An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies. Conservation letters*, 12(2), e12623.

[7] Lascurain, M., López-Binnquist, C., & Emery, M. R. (2016). *Culture and environment in the Sierra de Misantla, Veracruz, Mexico: the case of Oecopetalum mexicanum. Madera y bosques*, 22(3), 11-21.

[8] Lascurain M., López-Binnquist C & Lopez_Acosta J.C. (2018) *El árbol de cachichin (Oecopetalum mexicanum) una especie cultural clave de Veracruz, México. En Rivera, E.S., Valdes E.M., Lascurain, M., & Rodriguez-Luna, E. (Eds.). (2018). De la recolección a los agroecosistemas. Soberanía alimentaria y conservación de la biodiversidad. Univesridad Veracruzana. (pp.225-235).*

[9] Hernández-Mora, A. E., Trejo-Téllez, L. I., Hernández-Cázares, A. S., Contreras-Oliva, A., & Gómez-Merino, F. C. *Cachichín seed (Oecopetalum mexicanum Greenm. & CH Thomps.): Source of nutrients and bioactive compounds.*

[10] Mora, A. H., Morales, M. C., Montalvo, E. G., & Andrade, E. F. (2017). *Prueba preliminar de toxicidad aguda-oral del aceite de la semilla Oecopetalum mexicanum en ratones BALB/c. Journal CIM Vol*, 5(2).

[11] Lascurain, M., Angeles-Álvarez, G., Ortega Escalona, F., Ordóñez Candelaria, V. R., Ambrosio, M., & Avendaño, S. (2007). *Características anatómicas y propiedades mecánicas de la madera de Oecopetalum mexicanum Greenm. & CH Thomps. (Icacinaceae) de la sierra de Misantla, Veracruz, México. Madera y bosques*, 13(2), 83-95.

[12] Covarrubias, M., López-Acosta, J. C., Lascurain-Rangel, M., Rebollo, V., Pedraza, R. A., & Avendaño-Reyes, S. (2018). *Bosques oligárquicos de Oecopetalum mexicanum enriquecidos con especies nativas de la Sierra de Misantla, México. Madera y bosques*, 24(3).

[13] Trejo-Parra L.A., Núñez-Carreón H.A., Ramos-Velásquez L., Arroyo-López M.M., Luna-Rodríguez M. y Cabrera-Hernández A. (Junio, 2009) *Evaluación fungicida de extractos etanólicos y acuosos del cachichin (Oecopetalum mexicanum) sobre diversos hongos fitopatógenos. Poster presentado en XIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Acapulco, Guerre-*

ro. https://smbb.mx/congresos%20smbb/aca-pulco09/TRABAJOS/AREA_II/CII-76.pdf.

[14] Saidur R.M., Rauf F., Shermin T. S. & Khatun M. (2020). Seed Priming Methods: Application in Field Crops and Future Perspectives. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 5(2):8-19.

[15] Subbiah, A., Ramdhani, S., Pammenter, N. W., & Macdonald, A. H. (2019). Towards understanding the incidence and evolutionary history of seed recalcitrance: an analytical review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 37, 11-19.

[16] Keneni, Y. G., Hvoslef-Eide, A. T., & Marchetti, J. M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds. *Industrial crops and products*, 132, 12-20.

[17] Official Method AOAC. 925.10. Solids (total) and moisture in flour. Rockville, MD, USA: AOAC International; 2002.

[18] Perea-Flores, M., Garibay-Febles, V., Channon-Perez, J.J., Calderon-Dominguez, G., Mendez-Mendez, J.V., Palacios-González, E., Gutierrez-Lopez, G.F., 2012. Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. *Ind. Crops Prod.* 38, 64-71.

[19] Eggers, S., Erdey, D., Pammenter, N. W., & Berjak, P. (2007). Storage and germination response of recalcitrant seeds subjected to mild dehydration. In *Seeds: biology, development and ecology. Proceedings of the Eighth International Workshop on Seeds, Brisbane, Australia, May 2005* (pp. 85-92). Wallingford UK: CABI.

[20] Ley-Lopez, J. M., Wawrzyniak, M. K., Chacon-Madrigal, E., & Chmielarczyk, P. (2023). Seed traits and tropical arboreal species conservation: a case study of a highly diverse tropical humid forest region in Southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*, 32(5), 1573-1590.

[21] Daws, M. I., Garwood, N. C., & Pritchard, H. W. (2006). Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits and 104 species. *Annals of Botany*, 97(4), 667-674.

[22] Song, Q., Cheng, S., Chen, Z., Nie, G., Xu, F., Zhang, J., ... & Ye, J. (2019). Comparative transcriptome analysis revealing the potential mechanism of seed germination stimulated by exogenous gibberellin in *Fraxinus hupehensis*. *BMC plant biology*, 19, 1-17.

[23] Ge, N., Jia, J. S., Yang, L., Huang, R. M., Wang, Q. Y., Chen, C., ... & Chen, J. W. (2023). Exogenous gibberellic acid shortening after-ripening process and promoting seed germination in a medicinal plant *Panax notoginseng*. *BMC Plant Biology*, 23(1), 67.

[24] Berjak P., Pammenter N.W. (2013) Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. *Frontiers in Plant Science*, 4, 478.

[25] Ley-Lopez, J. M., Wawrzyniak, M. K., Chacon-Madrigal, E., & Chmielarczyk, P. (2023). Seed traits and tropical arboreal species conservation: a case study of a highly diverse tropical humid forest region in Southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*, 32(5), 1573-1590.



Ingeniantes®