RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS
DE INVESTIGACIÓN

GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

Para la productividad Organizacional



ISBN: 978-607-5893-87-7

COORDINADORES:
Elsa Elena Corona Mayoral
Delia del Carmen Gamboa Olivares
Adriana Elena Rivera Meza

GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD ORGANIZACIONAL

COORDINADORES

ELSA ELENA CORONA MAYORAL, DELIA DEL CARMEN GAMBOA OLIVARES, ADRIANA ELENA RIVERA MEZA

AUTORES

Abigail Vázquez García, Adael Arias Urquiza, Adolfo Alaves Aragón, Alfredo Diaz Criollo, Alicia Valdés Hernández, Ana Grisel Hernández Vallejo, Ana Victoria Ramírez Martínez, Anapaula Rivas Barraza, Andrés Guadalupe Flores Flores, Angélica del Carmen López Toto, Aris Lucia Ramos Castro, Cristian Omar Ramirez Lopez, David Rafael López Alarcón, Diana Citlaly Pantoja López, Doreidy Melgarejo Galindo, Eduwiges González Rodríguez, Emanuel Pérez López, Emely Rodríguez Rendón, Esmeralda Cuervo Del Ángel, Eucalit Sánchez García, Guadalupe Pérez Cervantes, Guadalupe Santillán Ferreira, Gustavo Solano Silva, Irani Monserrat Vargas García, Irene Edith Monroy Valdés, Israel Iván Gutiérrez Muñoz, Jerson Müller Tejeda, Jesús Javier Saucedo Cisneros, Jhoana López Hernández, José Armando Sánchez Salcedo, José Fernando Lorenzo Villalobos, Josué Ramos Román, Juan Francisco Gómez Valencia, Juan Miguel Aguilar Cervantes, Laura Guadalupe Butzmann Álvarez, Laura Lucrecia Vega Marticorena, Leira Carol Escudero Ramírez, Loida Melgarejo Galindo, Luis Alberto Montes Gutiérrez, Luis Moisés Alonso López, Manuel Villarruel Fuentes, Marco Antonio Diaz Ramos, María de Jesús García Gómez, María de los Ángeles Acosta Soberano, María del Carmen de Jesús González Martínez, María del Pilar Reyes Sierra, María Magdalena Domínguez Ruíz, Maricela Guerra Franco, Martha Bibiana Arriaga López, Melina Limón Lili, Melissa Jacome Domínguez, Mercedes Muraira Soto, Nora Lucía García Castañeda, Octavio Guillén Pérez, Omar Osvaldo Rentería Ramos, Oscar Luis Peña Valerio, Oscar Núñez Gaona, Patricia Uscanga Sánchez, Perfecto Gabriel Trujillo Castro, Raul Amador Vázquez, Reyli Jazael Roldan Mojica, Roberto Panuncio Mora Solís, Ronnie de Jesús Arieta Román, Rosalía Janeth Castro Lara, Rosalía Santiago Antonio, Salvador Paredes Rincon, Selene Magdala Ramos Cortés, Sonia Báez Lagunes, Verónica Romo López, Wendy García González, Yafet Martín Rosado Rosado.

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2026

EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-5893)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 2
Presentación en medio electrónico digital
Formato PDF 10 MB
Fecha de aparición 22/07/2026
ISBN 978-607-5893-89-1

ISBN: 978-607-5893-89-1

Derechos Reservados © Prohibida la reproducción total o parcial de este libro en cualquier forma o medio sin permiso escrito de la editorial.

Xalapa, Veracruz. México a 06 de julio de 2026

DICTAMEN EDITORIAL

La presente obra fue arbitrada y dictaminada en dos procesos; el primero, fue realizado por el **COMITÉ EDITORIAL RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.** con sede en México; que sometió a los capítulos incluidos en la obra a un proceso de dictaminación a doble ciego para constatar de forma exhaustiva la temática, pertinencia y calidad de los textos en relación a los fines y criterios académicos de la misma, cumpliendo así con la primera etapa del proceso editorial. El segundo proceso de dictaminación estuvo a cargo del **COMITÉ CIENTÍFICO RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.;** donde se seleccionaron expertos en el tema para la evaluación de los capítulos de la obra y se procedió con el sistema de dictaminación a doble ciego. Cabe señalar que previo al envío a los dictaminadores, todo trabajo fue sometido a una prueba de detección de plagio. Una vez concluido el arbitraje de forma ética y responsable y por acuerdo del Comité Editorial y Científico de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. (REDIBAI), se dictamina que la obra **"GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD ORGANIZACIONAL"** cumple con la relevancia y originalidad temática, la contribución teórica y aportación científica, rigurosidad y calidad metodológica, actualidad de las fuentes que emplea, redacción, ortografía y calidad expositiva.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez
Director Editorial
Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)
Dublín 34, Residencial Monte Magno
C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
Cel 2282386072

Xalapa, Veracruz. México a 22 de julio de 2026

CERTIFICACIÓN EDITORIAL

RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI) con sello editorial **No. 978-607-5893** otorgado por la Agencia Mexicana de ISBN, hace constar que el libro **"GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN PARA LA PRODUCTIVIDAD ORGANIZACIONAL"** registrado con el **ISBN 978-607-5893-89-1** fue publicado por nuestro sello editorial con fecha de aparición del 22 de julio de 2026 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra politica editorial.

Fue evaluado por pares académicos externos y aprobado por nuestro Comité Editorial y Científico.

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación se encuentran bajo el poder Editorial de **RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI),** los cuales están a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requieran.

La normativa editorial y repositorio se encuentran disponibles en la página **http://www.redibai-myd.org**

Doy fe.
Dr. Daniel Armando Olivera Gómez
Director Editorial
Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
(978-607-5893)
Dublín 34, Residencial Monte Magno
C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
Cel 2282386072

GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

Para la productividad Organizacional



Prólogo

En un entorno caracterizado por la incertidumbre, la acelerada evolución tecnológica y la creciente competencia global, la innovación ha dejado de ser una opción para convertirse en un elemento indispensable para la sostenibilidad y el crecimiento de las organizaciones. No se trata únicamente de desarrollar nuevos productos o incorporar tecnologías avanzadas, sino de construir una cultura organizacional capaz de adaptarse, aprender y generar valor de manera continua.

Gestión de la Innovación para la Productividad Organizacional ofrece una visión integral sobre los principios, estrategias y herramientas que permiten transformar la innovación en un factor determinante para mejorar la productividad y fortalecer la competitividad. Se encontrarán fundamentos conceptuales, enfoques metodológicos y aplicaciones prácticas que facilitan la comprensión de cómo la innovación puede integrarse en los procesos, la gestión del talento, la toma de decisiones y la planificación estratégica.

La productividad no depende exclusivamente de la eficiencia en el uso de los recursos, sino también de la capacidad para anticipar cambios, identificar oportunidades y promover soluciones creativas que respondan a las necesidades de clientes, colaboradores y demás grupos de interés. En este sentido, la gestión de la innovación constituye un proceso sistemático que impulsa la mejora continua, fomenta la colaboración y fortalece la resiliencia de las organizaciones frente a los desafíos del entorno global.

ÍNDICE

ANÁLISIS DEL BURNOUT EN INGENIERÍA DE PROCESOS: EVIDENCIA DE UN ESTUDIO DE CASO EN LA INDUSTRIA MAQUILADORA AUTOMOTRIZ
Israel Iván Gutiérrez Muñoz
Laura Lucrecia Vega Marticorena
Omar Osvaldo Rentería Ramos 1

REPRODUCCIÓN ASEXUAL DE Tithonia diversifolia SEMBRADA EN CONTENEDORES DE POLIETILENO BAJO TRES NIVELES DE HUMEDAD
Juan Miguel Aguilar Cervantes
Manuel Villarruel Fuentes
Yafet Martín Rosado Rosado 13

ENMIENDAS REGENERATIVAS PARA EL MANEJO ORGÁNICO DEL SUELO Y LA CONSERVACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA BIODIVERSIDAD
Manuel Villarruel Fuentes
Josué Ramos Román
Yafet Martín Rosado Rosado 25

ESCARIFICACION DE SEMILLAS DE TRES ESPECIES DE LEGUMINOSAS NATIVAS COLECTADAS EN CONDICIONES DE ACAHUAL
Josué Ramos Román
Manuel Villarruel Fuentes
Aris Lucia Ramos Castro 37

INNOVACIÓN EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS EN EMPRESAS MUEBLERAS MEDIANTE SIX SIGMA
Maricela Guerra Franco
Anapaula Rivas Barraza
Diana Citlaly Pantoja López 49

MODELADO DE PARTÍCULAS LAMINARES EN CONCENTRADORES CENTRÍFUGOS: ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE FACTORES DE CORRECCIÓN POR FORMA MEDIANTE SIMULACIÓN EN PYTHON
Raul Amador Vázquez
María del Pilar Reyes Sierra
Laura Guadalupe Butzmann Álvarez 63

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DEL RASTROJO DE AMARANTO
María de Jesús García Gómez
Oscar Núñez Gaona 75

ÍNDICE

MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL RASTROJO DE AMARANTO DURANTE EL PRETRATAMIENTO CON ULTRASONIDO
José Fernando Lorenzo Villalobos
María De Jesús García Gómez 85

GESTIÓN DEL RIESGO Y CONTINUIDAD OPERATIVA: ESTUDIO DE CASO EN INNOVATEC 2026 DEL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO – VERACRUZ
Jesús Javier Saucedo Cisneros
Nora Lucía García Castañeda
Eucalit Sánchez García 99

APLICACIÓN DE LOS KPIS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE
Cristian Omar Ramirez Lopez
Perfecto Gabriel Trujillo Castro
Sonia Báez Lagunes 113

ELABORACION DE COMPOSTA COMO ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS
Luis Alberto Montes Gutiérrez
Ana Grisel Hernandez Vallejo
Salvador Paredes Rincón
Reyli Jazael Roldan Mojica 126

IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS
Luis Alberto Montes Gutiérrez
Abigail Vazquez Garcia
Ana Grisel Hernandez Vallejo
Alfredo Diaz Criollo 133

ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES KPI EN SIMULACROS TIPO SISMO DE EVACUACIÓN INSTITUCIONAL SEPTIEMBRE 2025 Y MAYO 2026 EN EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO - VERACRUZ
Luis Moisés Alonso López
Jesús Javier Saucedo Cisneros
Nora Lucía García Castañeda 146

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA LECHE EN LA ZONA SUR DE LA CIUDAD DE COATZACOALCOS VERACRUZ
Juan Francisco Gómez Valencia
Gustavo Solano Silva
Patricia Uscanga Sánchez 157

ÍNDICE

OPTIMIZACIÓN DE LA SEGURIDAD EN LABORATORIOS INDUSTRIALES A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS
Ana Grisel Hernández Vallejo
Melissa Jacome Domínguez
Luis Alberto Montes Gutiérrez
Leira Carol Escudero Ramirez **166**

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA SISTEMAS DE CALDERAS
Ana Grisel Hernández Vallejo
Jhoana López Hernández
Luis Alberto Montes Gutiérrez
Salvador Paredes Rincón **174**

ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD IMPLEMENTADAS POR LAS ORGANIZACIONES EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
Loida Melgarejo Galindo
Rosalía Janeth Castro Lara
Doreidy Melgarejo Galindo
Adael Arias Urquiza **187**

INNOVACIÓN PRODUCTIVA COMO ESTRATEGIA PARA FORTALECER LA ADMINISTRACIÓN DE SISTEMAS INTEGRALES DE CALIDAD EN MIPYMES MEXICANAS
Andrés Guadalupe Flores Flores
Melina Limón Lili
Selene Magdala Ramos Cortés **194**

PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE BOVINOS DE MEDIA CEBA BAJO PASTOREO ROTACIONAL EN UN SISTEMA GANADERO DEL SUR DE VERACRUZ, MÉXICO
Eduwiges González Rodríguez
Wendy García González
José Armando Sánchez Salcedo
Ronnie de Jesús Arieta Román **206**

DIAGNÓSTICO SOCIO-PRODUCTIVO DEL MANEJO DE BECERROS EN SISTEMAS BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE VERACRUZ
Octavio Guillén Pérez
Ronnie de Jesús Arieta Román
José Armando Sánchez Salcedo **219**

ÍNDICE

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS EN MAQUINARIA Y EQUIPO EN CUMPLIMIENTO DE LA NOM-004-STPS-1999.
Martha Bibiana Arriaga López
Alicia Valdés Hernández
Irene Edith Monroy Valdés 232

PROPUESTA DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA GANADERIA DEL CORREDOR TRASNSÍSMICO DE MÉXICO
Salvador Paredes Rincón
Luis Alberto Montes Gutiérrez
Ana Grisel Hernandez Vallejo 244

PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO EN TRES CONDICIONES, MALLA SOMBRA AL 70%, 50% Y A CIELO ABIERTO
Roberto Panuncio Mora Solís
Mercedes Muraira Soto
Ana Victoria Ramírez Martínez
Irani Monserrat Vargas García
Adolfo Alaves Aragón 262

INNOVACIÓN PRODUCTIVA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR EN MICROEMPRESAS DE ALVARADO, VERACRUZ: ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN Y COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL
María del Carmen de Jesús González Martínez
Guadalupe Santillán Ferreira
Angélica del Carmen López Toto
Oscar Luis Peña Valerio 270

PLAN ESTRATEGICO DE UN COMPLEJO TURISTICO EN URSULO GALVAN
Marco Antonio Díaz Ramos
Guadalupe Pérez Cervantes
María de los Ángeles Acosta Soberano
Verónica Romo López 286

ANÁLISIS DEL BURNOUT EN INGENIERÍA DE PROCESOS: EVIDENCIA DE UN ESTUDIO DE CASO EN LA INDUSTRIA MAQUILADORA AUTOMOTRIZ

Israel Iván Gutiérrez Muñoz[1]
Laura Lucrecia Vega Marticorena[2]
Omar Osvaldo Rentería Ramos[3]

RESUMEN

El síndrome de burnout representa un fenómeno psicológico de creciente interés debido a su impacto negativo en la salud mental de los trabajadores y en el desempeño organizacional. Este estudio analiza la incidencia y los factores asociados al burnout en el departamento de ingeniería de procesos de la empresa maquiladora de la industria automotriz, ubicada en Durango, México. Se utilizó un diseño cuantitativo, descriptivo, transversal y no experimental, con una muestra intencional compuesta por 28 ingenieros de tres plantas diferentes. Se aplicó el cuestionario MBI-ES (Maslach Burnout Inventory - Educators Survey), compuesto por 20 ítems distribuidos en tres dimensiones: agotamiento emocional, despersonalización y realización personal. Los resultados evidenciaron niveles preocupantes de agotamiento emocional y despersonalización en una parte significativa de los participantes, así como una disminución en la percepción de realización profesional. El análisis reveló la influencia de diversos factores organizacionales y psicosociales del entorno laboral. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias preventivas y de intervención enfocadas en mejorar el clima laboral, reducir la carga de trabajo y fortalecer el apoyo institucional, contribuyendo así al bienestar y la productividad del personal.

Palabras clave: Síndrome de burnout, desempeño organizacional, agotamiento emocional, despersonalización.

INTRODUCCIÓN

El síndrome de burnout, también conocido como síndrome de desgaste profesional, es un fenómeno ocupacional que ha captado la atención de investigadores y profesionales de la salud en las últimas décadas. Descrito por primera vez en 1974, el burnout se ha convertido en un tema de creciente interés, con más de 15,000 publicaciones científicas dedicadas a su estudio.

[1] Universidad Tecnológica de Durango. israel.gutierrez@utd.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. lauravega@itdurango.edu.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. omar.renteria@itdurango.edu.mx

Este síndrome se caracteriza principalmente por un estado de agotamiento físico, emocional y mental, que se desarrolla como resultado de un estrés laboral crónico e inmanejable. Aunque inicialmente se asoció con profesionales de servicios humanos, como médicos y enfermeras, hoy en día se reconoce que puede afectar a trabajadores de diversos campos.

El Inventario de Burnout de Maslach (MBI), desarrollado por Christina Maslach y Susan E. Jackson, es el instrumento más utilizado para evaluar este síndrome. El MBI mide tres dimensiones clave del burnout: agotamiento emocional, despersonalización y reducción de la realización persona.

A pesar de su popularidad y reconocimiento, el concepto de burnout no está exento de controversias. Existen más de 140 definiciones propuestas, y aún no se ha llegado a un consenso sobre sus criterios diagnósticos específicos o su ubicación conceptual como trastorno independiente o factor de riesgo.

En 2019, la Organización Mundial de la Salud (OMS) incluyó el burnout en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-11) como un "fenómeno ocupacional", reconociendo así su impacto en la salud laboral a nivel global. Esta inclusión ha impulsado aún más la investigación y el desarrollo de estrategias para su prevención y manejo en diversos entornos laborales.

El síndrome de burnout se manifiesta en la industria maquiladora a través de diversos indicadores que afectan tanto a los empleados como a las organizaciones ya que es un sector, caracterizado por altas demandas laborales, largas jornadas y presión constante para cumplir objetivos.

Se ha identificado que los niveles de burnout varían según el puesto laboral y las condiciones específicas del trabajo. Por ejemplo, los mandos medios y superiores tienden a presentar mayores niveles de agotamiento emocional debido a su responsabilidad dual hacia superiores y subordinados. Estas manifestaciones subrayan la necesidad de implementar estrategias preventivas y correctivas para mitigar el impacto del burnout en este sector industrial.

Burnout

El síndrome de burnout empresarial se refiere al estado de agotamiento físico, emocional y mental que surge como resultado del estrés laboral crónico en el entorno empresarial. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado desde diferentes perspectivas teóricas para comprender sus causas, manifestaciones y consecuencias.

El burnout empresarial se caracteriza por tres dimensiones principales:

1. **Agotamiento emocional**: Sensación de estar emocionalmente exhausto debido a las demandas laborales.
2. **Despersonalización**: Desarrollo de actitudes negativas, cinismo o desapego hacia los compañeros o el trabajo.

3. **Falta de realización personal**: Sentimientos de incompetencia y baja autoeficacia en el ámbito laboral (Maslach et al., 1996; Shirom, 1989, citado en Martínez Pérez, 2010).

Modelo Tridimensional de Maslach

Christina Maslach desarrolló un modelo basado en las tres dimensiones mencionadas (agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal). Según este enfoque, el burnout se desarrolla progresivamente debido a un desequilibrio entre las demandas laborales y los recursos disponibles para afrontarlas (Maslach et al., 1996).

Teoría del Estrés Laboral

Esta teoría sostiene que el burnout es una respuesta al estrés crónico en el trabajo, enfocándose en factores estresantes como la sobrecarga de trabajo, falta de control, escaso apoyo social y desequilibrio entre esfuerzo y recompensa (Freudenberger, 1974; Martínez Pérez, 2010).

Teoría del Desajuste Persona-Trabajo

Este enfoque se centra en la falta de ajuste entre las características personales de un individuo y las demandas del trabajo. Sugiere que cuando hay una discrepancia entre las habilidades, valores y necesidades del individuo y las exigencias del trabajo, aumenta el riesgo de burnout (Tonon, 2003).

Impacto del Burnout Empresarial

El burnout tiene consecuencias significativas tanto a nivel individual como organizacional:

- A nivel individual, puede causar problemas físicos (fatiga crónica), emocionales (ansiedad, depresión) y cognitivos (dificultad para concentrarse).
- En las organizaciones, se asocia con disminución del rendimiento laboral, aumento del ausentismo y rotación del personal (Ramos & Buendía, 2001).

Metodología de la investigación en estudios sobre burnout

La metodología de investigación según Hernández Sampieri (1998) abarca desde el planteamiento del problema hasta la formulación de hipótesis, el diseño de la investigación, la recolección y análisis de datos. Este enfoque es esencial para estudios sobre el burnout, ya que permite evaluar sistemáticamente las variables involucradas.

En estudios sobre el burnout, se pueden aplicar los siguientes pasos metodológicos:

1. Planteamiento del problema: Identificar las causas y consecuencias del burnout en diferentes contextos laborales.
2. Revisión de la literatura: Analizar teorías y hallazgos previos sobre el burnout, como el modelo de Maslach (Maslach et al., 1996).
3. Diseño de la investigación: Utilizar diseños cuantitativos o cualitativos para evaluar el burnout, como cuestionarios estandarizados como el MBI-HSS (Martínez Pérez, 2010).

Salud Laboral

La salud laboral es una disciplina multidisciplinaria que se enfoca en promover y proteger la salud de los trabajadores, buscando controlar accidentes y enfermedades mediante la reducción de condiciones de riesgo. Este campo abarca aspectos físicos, mentales y sociales; Según Personio (2024), la salud laboral busca minimizar riesgos laborales y promover el bienestar de los empleados. La Organización Mundial de la Salud define la salud laboral como una actividad multidisciplinaria que promueve y protege la salud de los trabajadores.

Factores Organizacionales

Los factores organizacionales se refieren a los elementos que influyen en el comportamiento, las actitudes y el desempeño de los empleados dentro de una organización. Estos factores son cruciales para entender cómo las estructuras, procesos y relaciones internas afectan el logro de los objetivos organizacionales. Los factores organizacionales incluyen aspectos como las condiciones laborales, la relación laboral, las actitudes y el desempeño, que forman parte del clima organizacional (Iparraguirre & Baltazar, s.f.).

MÉTODO

El sector maquilador en México, y particularmente en Durango, representa una importante fuente de empleo y un motor clave para la economía regional. Sin embargo, este sector se caracteriza por entornos laborales demandantes, con altas exigencias de producción, ritmos de trabajo acelerados y, en ocasiones, condiciones laborales que pueden generar estrés y afectar la salud mental de sus empleados. Dentro de este contexto, el departamento de ingeniería de procesos juega un rol crucial en la optimización de la producción, la resolución de problemas técnicos y la implementación de mejoras continuas, lo que a menudo implica una alta carga de trabajo, plazos ajustados y la necesidad de una constante actualización y adaptación a nuevas tecnologías y requerimientos.

En el departamento de ingeniería de procesos de la empresa maquiladora de la industria automotriz, se ha observado que la mayoría del personal se ha quejado de múltiples situaciones que están generando estrés entre ellos, desde jornadas laborales largas hasta dificultad en la toma de decisiones. En cuanto al ambiente de trabajo, se han presentado situaciones que han terminado en problemas personales, así como también el personal muestra signos de cansancio y agotamiento que han mermado incluso en la salud de algunos empleados. El trabajo demandante, combinado con las características propias del entorno maquilador (como la presión por cumplir con los objetivos de producción y los estándares de calidad), podrían estar generando niveles elevados de estrés y contribuyendo al desarrollo del síndrome de burnout.

El burnout, caracterizado por agotamiento emocional, despersonalización y una reducida realización personal, puede tener consecuencias significativas tanto para los ingenieros de procesos como para la propia empresa. A nivel individual, el burnout puede manifestarse en problemas de salud física y mental (ansiedad, depresión, trastornos del sueño, etc.), disminución de la motivación, menor satisfacción laboral y deterioro de las relaciones interpersonales. Para la empresa, el burnout en el departamento de ingeniería de procesos podría traducirse en una disminución de la productividad, un aumento de errores y fallas en los procesos, una menor capacidad de innovación y resolución de problemas, un incremento del ausentismo y la rotación de personal (con los consecuentes costos de reclutamiento y capacitación), y un clima laboral deteriorado.

Pregunta de investigación.

¿Cuáles son los niveles de burnout en los ingenieros del departamento de ingeniería de procesos de una empresa maquiladora de la industria automotriz?

Indicadores del síndrome del burnout

De acuerdo con Maslach y Jackson, los indicadores del síndrome de burnout se basan en un modelo tridimensional que incluye las siguientes dimensiones:

Tabla 1.*Dimensiones del Burnout*

DIMENSIÓN DEL SQT	INDICADOR
Agotamiento emocional (CE)	Grado de agotamiento presentado por el individuo caracterizado por manifestaciones físicas y emocionales.
Despersonalización (DP)	Grado de desinterés hacia el usuario del servicio.
Reducción de la realización personal (RP)	Grado de expectativas que tiene el sujeto de progreso profesional en su trabajo.

Agotamiento emocional.

Este indicador se refiere a una sensación de cansancio extremo, pérdida de energía y desgaste emocional debido a las demandas laborales. Es el aspecto más dominante del burnout y refleja la incapacidad de las personas para enfrentar el estrés crónico, lo que puede manifestarse como fatiga física y mental constante.

Despersonalización.

La despersonalización implica una actitud de cinismo, desapego o indiferencia hacia el trabajo, los compañeros o los clientes. Las personas pueden desarrollar actitudes negativas o inapropiadas, como irritabilidad y pérdida de idealismo, utilizando este mecanismo como una forma defensiva para lidiar con el estrés. Esto puede incluir comportamientos fríos o distantes en las relaciones laborales.

Reducción de la realización personal.

Este indicador se caracteriza por una percepción de ineficacia y falta de logros en el trabajo. Las

personas sienten que no están cumpliendo sus objetivos profesionales ni contribuyendo significativamente, lo que afecta su autoestima y motivación. Esto puede derivar en una sensación generalizada de fracaso y baja productividad

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

Analizar el síndrome de burnout en los empleados de la empresa maquiladora de la industria automotriz.

Objetivos Específicos:

Determinar la prevalencia del síndrome de burnout en los empleados de la empresa maquiladora, identificando la proporción de trabajadores que presentan niveles significativos de agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal, utilizando un instrumento de medición validado.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de la importancia del departamento de ingeniería de procesos para el funcionamiento eficiente de la maquiladora, existe una posible falta de comprensión específica sobre la prevalencia y los factores asociados al burnout en este grupo de profesionales dentro del contexto particular de las maquiladoras en Durango. Investigar el burnout en este departamento es crucial para identificar los factores psicosociales del entorno laboral que podrían estar contribuyendo a su desarrollo. Comprender estos factores permitirá a la empresa implementar estrategias de prevención e intervención más efectivas, dirigidas a mejorar el bienestar y la salud
mental de sus ingenieros, optimizar su desempeño laboral, reducir los costos asociados al burnout y fomentar un ambiente de trabajo más saludable y productivo. Además, esta investigación podría aportar conocimiento valioso para otras empresas maquiladoras en la región que enfrentan desafíos similares en sus departamentos de ingeniería.

Definir el tipo de estudio, alcance y diseño de la investigación.

Método cuantitativo

Un método cuantitativo es un enfoque sistemático de investigación que se centra en la recopilación y análisis de datos numéricos para describir, explicar, predecir o controlar fenómenos. Utiliza técnicas estadísticas, matemáticas y computacionales para medir variables, probar hipótesis y establecer relaciones causales o correlaciónales con el objetivo de generalizar los resultados a una población más amplia. La objetividad, la medición precisa y la replicabilidad son características fundamentales

de este método.

Método descriptivo

El método descriptivo es una estrategia de investigación que tiene como objetivo principal observar y describir sistemáticamente las características de una población, situación o fenómeno en un momento particular. Su propósito no es manipular variables ni establecer relaciones causales, sino proporcionar una imagen detallada y precisa de lo que está ocurriendo. Se enfoca en responder a las preguntas de qué, quién, dónde y cuándo de un fenómeno.

Método transversal

Un método transversal es un tipo de diseño de investigación observacional que recopila datos de una población o subconjunto de ella en un único punto en el tiempo. Su objetivo principal es describir las características de la población o examinar la prevalencia de un fenómeno, actitud u opinión en ese momento específico, así como explorar posibles asociaciones entre variables. No manipula variables ni sigue a los participantes a lo largo del tiempo.

Método no experimental

El método no experimental es una estrategia de investigación en la cual el investigador no manipula intencionalmente las variables independientes, sino que observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos y describir sus relaciones.

El estudio realizado es no probabilístico e intencional ya que se está aplicando a una población en específico. Se aplica el instrumento a la totalidad de la población del área de Ingeniería de una empresa maquiladora, la cual está segmenta en tres plantas. De planta 1 se tiene una población de 10 individuos, en planta 2 se tiene una población de 8 individuos y en planta 3, 10 individuos. Para esta investigación no se tiene un muestreo, se toma toda la población por el tamaño de esta.

El instrumento base para la medición del síndrome de burnout que se aplicado fue el de Ítems de Maslach incluidos en el cuestionario identificado como MBI-ES para medición del síndrome de quemado por el trabajo (burnout) Instrumento estandarizado MBI-ES es que cuenta con una confiabilidad de más de 85% según lo informado por distintos estudios.

En cuanto a la aplicación del instrumento, se hizo un vaciado de los ítems en un formulario de google conteniendo un total de 20 ítems, que se compartió a cada uno de los participantes a través de una liga enviada mediante una aplicación de mensajería.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la presente investigación se encuestaron el total de la población de las 3 plantas, 10 individuos en Planta 1, 8 en Planta 2, y 10 en Planta 3.

Los resultados se presentan por planta y rubro según la afectación que presentan; como nivel bajo se clasifica con un número “1”, en nivel medio con un número “2” y con un nivel alto un número “3”.
En la clasificación de Cansancio Emocional nos revela que la planta con más afectación es Planta 2, teniéndose el 100% de sus resultados como Alto nivel, en segundo lugar, esta Planta 1 y por último Planta 3. Aun así, en las 3 plantas se tienen individuos con alto nivel de cansancio emocional.

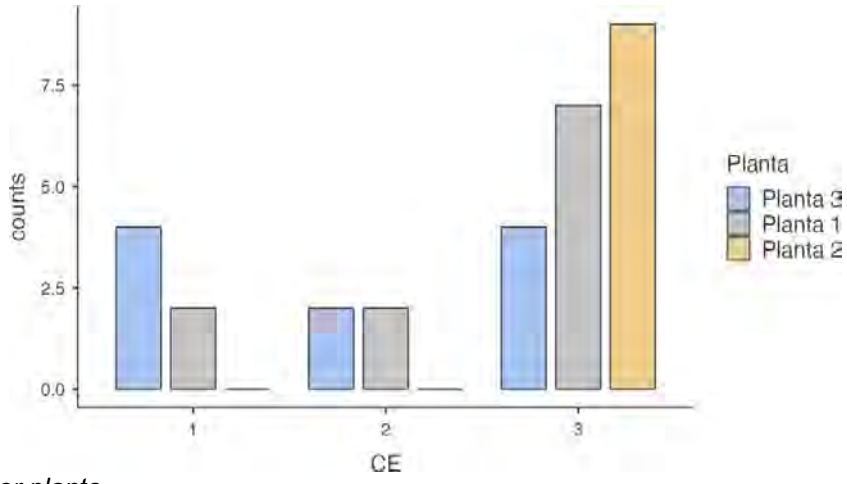


Figura 1. *Resultados por planta*

En cuanto a despersonalización, todos los resultados se encuentran entre alto y medio nivel, siendo nuevamente Planta 2 la que obtiene el resultado más alto con mayor afectación, Planta 1 en segundo lugar y Planta 3 en último lugar.

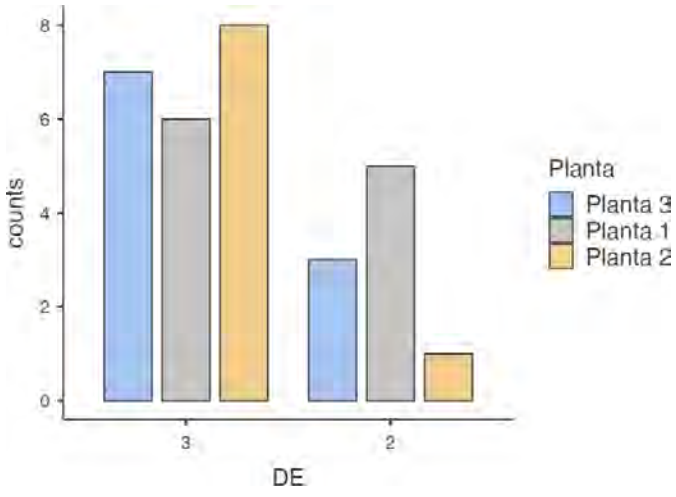


Figura 2. *Despersonalización*

En la realización personal la mayoría de los individuos entran en la clasificación de nivel alto siendo en esta clasificación la Planta 1 la más afectada, Planta 2 en segundo lugar y Planta 3 en último lugar.

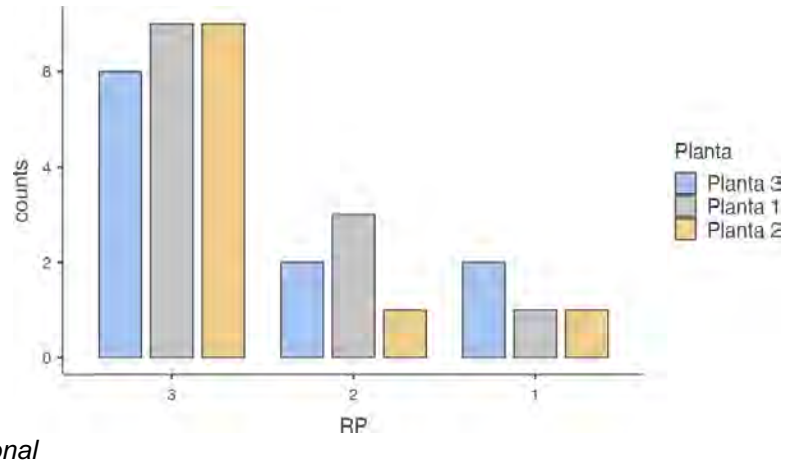


Figura 3. *Realización Personal*

Al realizar el ejercicio con estos mismos datos, pero en esta ocasión separando por antigüedad en la empresa en 3 clasificaciones, menor de 5 años laborados (de 0 a 4 años), mayor de 10 años laborados (de 5 a 9 años) y mayor de 10 años laborados (de 10 años en adelante) los resultados son los siguientes:

En lo que concierne a cansancio emocional el resultado que arroja la investigación es que los individuos con menos de 5 años de antigüedad en la empresa son los que presentan un nivel más alto de cansancio emocional, aun así, todas las clasificaciones de edad contemplan a individuos dentro de un alto nivel. Siendo los de mayor de 10 años de antigüedad los que se encuentran en un nivel alto y medio.

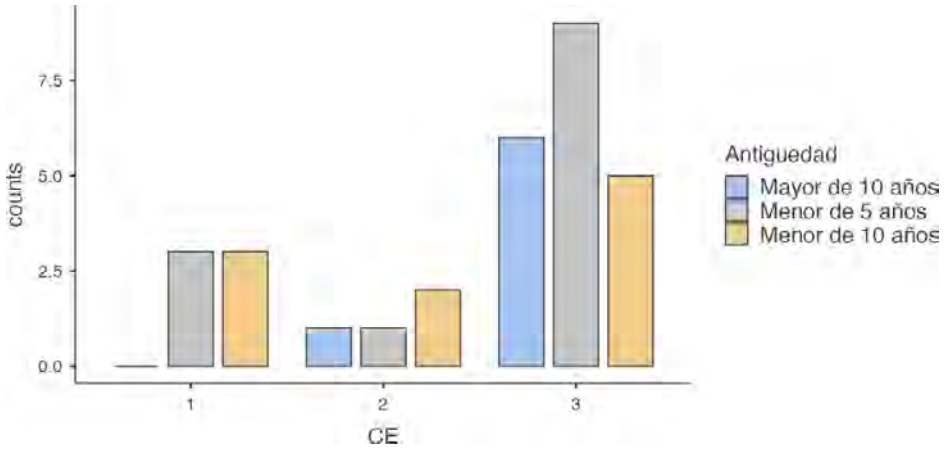


Figura 4. *Cansancio emocional*

Sobre la despersonalización todos se encuentran en un alto y medio nivel siendo nuevamente los menores de 5 años de antigüedad los que presentan el más alto nivel de afectación, en segundo lugar se encuentran los menores de 10 años de antigüedad y por ultimo los de mayor de 10 años de antigüedad.

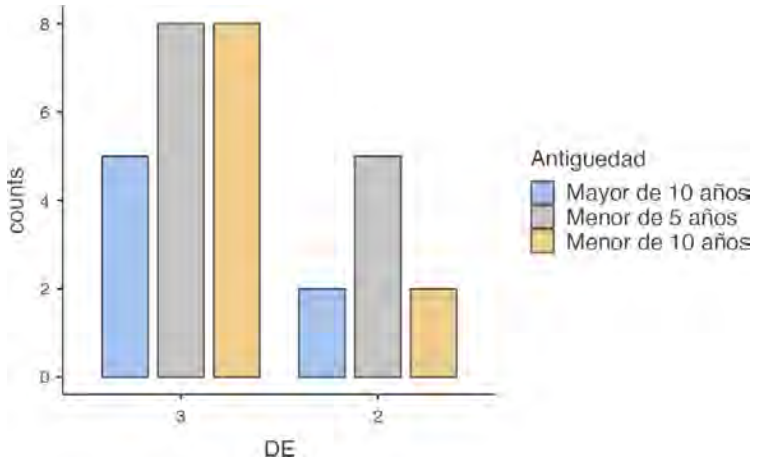


Figura 5. *Despersonalización*

En cuanto a realización personal los de menor de 5 años de antigüedad continúan siendo los más desmotivados con una afectación más alta, siguiendo los de menor de 10 años de antigüedad y por ultimo los de mayor de 10 años de antigüedad.

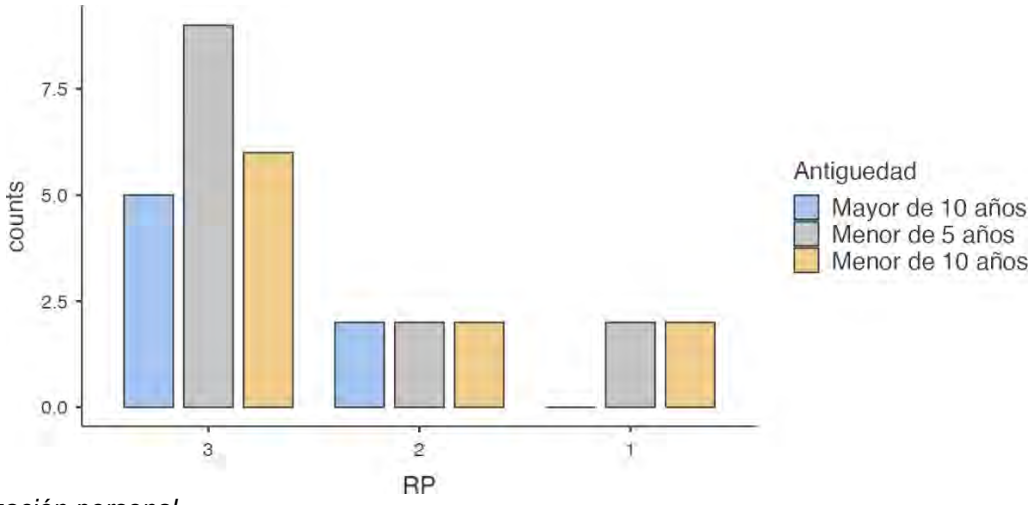


Figura 6. *Realización personal*

CONCLUSIONES

El burnout empresarial se presenta como un síndrome de agotamiento tridimensional que afecta física, emocional y mentalmente a los empleados debido al estrés laboral crónico. Este fenómeno, explicado por modelos como el de Maslach y teorías como la del estrés laboral y el desajuste persona-trabajo, tiene un impacto significativo tanto a nivel individual (problemas de salud física y mental) como organizacional (disminución del rendimiento, aumento del ausentismo y rotación).

Los resultados evidencian que el burnout en el departamento de ingeniería de procesos no es un fenómeno aislado, sino estructural, asociado a condiciones organizacionales específicas. La mayor afectación en empleados con menor antigüedad sugiere deficiencias en los procesos de integración

organizacional. Asimismo, la concentración de altos niveles de agotamiento emocional y despersonalización indica un entorno laboral con demandas elevadas y recursos insuficientes, lo cual coincide con modelos contemporáneos como el JD-R. Estos hallazgos resaltan la necesidad de intervenciones organizacionales sistémicas más allá de acciones individuales Comprender la prevalencia y los factores asociados al burnout en este sector es crucial para implementar estrategias de prevención e intervención que mejoren el bienestar de los empleados, optimicen el desempeño laboral y fomenten un ambiente de trabajo más saludable y productivo. La investigación en este contexto específico de la industria maquiladora en Durango subraya la importancia de considerar los factores psicosociales del entorno laboral para mitigar el riesgo de burnout y sus consecuencias negativas.

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio confirman la presencia de niveles elevados de burnout en el contexto maquilador, particularmente en la dimensión de agotamiento emocional, lo cual es consistente con el modelo tridimensional de Maslach et al. (1996), quienes plantean que esta dimensión es el núcleo del síndrome. Desde la perspectiva del modelo Job Demands-Resources (JD-R) propuesto por Bakker y Demerouti (2007), los altos niveles de burnout observados pueden explicarse por un desequilibrio entre las demandas laborales (carga de trabajo, act. productiva, presión por resultados) y los recursos organizacionales (apoyo, autonomía, reconocimiento). En este estudio, la alta afectación en la Planta 2 sugiere un entorno con mayores demandas o menor disponibilidad de recursos.

Asimismo, los resultados relacionados con la antigüedad coinciden con estudios de Leiter y Maslach (2004), quienes señalan que los empleados con menor experiencia presentan mayores niveles de burnout debido a procesos deficientes de adaptación organizacional y expectativas laborales no cumplidas.

La elevada despersonalización encontrada refleja un mecanismo de defensa ante el estrés crónico, como lo planteó Freudenberger (1974), lo que puede afectar la calidad del trabajo y las relaciones interpersonales.

Por otra parte, la disminución de la realización personal se vincula con la teoría del desajuste persona-trabajo (Maslach & Leiter, 1997), indicando que los ingenieros perciben una falta de congruencia entre sus expectativas profesionales y las condiciones laborales reales.

REFERENCIAS

Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2007). The Job Demands–Resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology*, 22(3), 309–328.

Freudenberger, H. J. (1974). Staff burn-out. Journal of Social Issues, 30(1), 159–165.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1998). Metodología de la investigación (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Iparraguirre, P., & Baltazar, P. (s.f.). Factores organizacionales y personales. Repositorio UPCH.

Leiter, M. P., & Maslach, C. (2004). Areas of worklife: A structured approach to organizational predictors of job burnout. *Research in Occupational Stress and Well Being*, 3, 91–134.

Maslach, C., Jackson, S., & Leiter, M. P. (1996). Maslach Burnout Inventory Manual (3rd ed.). Palo Alto: Consulting Psychologists Press.

Maslach, C., & Leiter, M. P. (1997). *The truth about burnout*. Jossey-Bass.

Martínez Pérez, A. (2010). El síndrome de Burnout. Evolución conceptual y estado actual de la cuestión. Vivat Academia, 112, 42–80.

Ramos, J., & Buendía, L. (2001). El síndrome de Burnout en profesionales de la educación. Universidad de Granada.

Tonon, G. (2003). Burnout: Un análisis desde la perspectiva psicosocial. Universidad de Buenos Aires.

Personio. (2024). Salud laboral: la importancia de cuidarla adecuadamente. Recuperado de <https://www.personio.es/glosario/salud-laboral/>

REPRODUCCIÓN ASEXUAL DE Tithonia diversifolia SEMBRADA EN CONTENEDORES DE POLIETILENO BAJO TRES NIVELES DE HUMEDAD

Juan Miguel Aguilar Cervantes[1]
Manuel Villarruel Fuentes[2]
Yafet Martín Rosado Rosado[3]

RESUMEN

Introducción. Un aspecto de la denominada "ganadería regenerativa" lo representa el diseño de estrategias de manejo agroecológico dentro de los sistemas de producción, dirigidas al fomento de la biodiversidad y su aprovechamiento holístico. Se trata de reconocer el potencial productivo y ecosistémico de las distintas especies nativas e introducidas, dotándolas de un valor económico de uso. Una de estas especies es el Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*), que por sus características biológicas y bromatológicas se constituye en una alternativa viable para las regiones tropicales subhúmedas. **Objetivo**. Determinar el nivel de humedad requerido para la reproducción asexual y el crecimiento de *Tithonia diversifolia*, establecida mediante esquejes en macetas de polietileno (plástico). **Metodología**. El estudio se desarrolló en el Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. Se estableció mediante un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos (niveles de humedad): T1=3.750 L, T2=2.810 L, T3=1.875 L por contenedor, aplicados cada tercer día, en diez repeticiones por nivel. Los esquejes tuvieron una longitud de 40cm, con diversos diámetros distribuidos aleatoriamente en los tratamientos. El sustrato se elaboró con la mezcla de suelo, arena y composta (22.68 kg por maceta). Las variables medidas incluyeron: % de supervivencia, % de esquejes con rebrotes, longitud de rebrote, número de hojas por esqueje, pH del sustrato y nivel de humedad. **Resultados**. La evidencia demostró que el nivel de agua afectó la respuesta biológica del esqueje, encontrándose que las variables medidas mostraron diferencias en favor del riego con el menor nivel de agua. **Conclusiones**. La reproducción asexual de *T. diversifolia*, mediante esquejes en macetas con riego controlado, es una alternativa viable para su manejo en vivero rural, haciendo factible su incorporación dentro de los sistemas de producción pecuaria, la promoción de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Palabras clave: vivero, botón de oro, ecosistémico, ganadería, riego.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

INTRODUCCIÓN

Las actividades agrícolas y pecuarias desarrolladas en las regiones tropicales asociadas a los sistemas de producción comercial, han traído consigo una serie de problemas ambientales, destacándose entre ellos la pérdida de la biodiversidad, la contaminación y agotamiento de los cuerpos de agua, el empobrecimiento de los suelos y la erosión genética y cultural. Este último aspecto vinculado al sostenimiento de agrosistemas basados en monocultivos —caña de azúcar, café, cítricos, piña, entre otros—, los cuales determinan las formas y ritmos de vida de los productores y sus familias. Se sabe que actualmente las tasas de extinción "son considerablemente más altas que los niveles estimados históricamente, y es esperable que esta tendencia continúe a medida que los ecosistemas sufren alteraciones crecientes producto de la deforestación, la contaminación y la introducción e invasión de especies exóticas" (Myriam del Valle et al., 2025, p.5).

Aunado a ello, el deterioro de la diversidad biológica original ha configurado paisajes homogéneos, y por lo tanto, continuos y monótonos, cancelándose toda posibilidad de encontrar espacios para la presencia de vegetación secundaria o terciaria. Incluso la fauna silvestre se vuelve selectiva, en función a las condiciones de vida posibles dentro de estos hábitats temporales.

Desde el punto de vista ecológico, las interacciones biológicas, tan necesarias para generar las dinámicas poblacionales y los ecosistemas a ellos asociados, se ven limitados por los esquemas de manejo agrícola y ganadero. Ante estos escenarios los servicios ambientales o ecosistémicos se reducen únicamente a la captura de carbono posible —en función al tipo de vegetación: árboles, arbustos y herbáceas—, y a la generación de oxígeno por los cultivares, sin que ello permita disminuir o atenuar de forma importante las emisiones de bióxido de carbono y metano de los animales domésticos.

Mención aparte merece la falta de flora, nativa e introducida —*Angiospermas* o *Magnoliophyta*—, que mediante su diversidad —estimada en más de 250 000 especies, presentes en cualquier ecosistema terrestre [Villaseñor y Ortiz, 2014]) permita su coexistencia con los polinizadores, quienes se ven afectados, viendo reducidas sus posibilidades de supervivencia, comprometiendo de esta forma la propia existencia humana.

Estos entornos problemáticos hacen necesario generar propuestas biotecnológicas asentadas en la introducción de nuevas especies vegetales multipropósito, que además de disminuir la presión biológica sobre el suelo, la fauna y flora nativa, contribuyan a mejorar los sistemas de producción, volviéndolos sustentables, al propiciar servicios ecosistémicos mientras sirven para mejorar la alimentación de los animales domésticos y mejoran las condiciones de los suelos.

Desde esta perspectiva, la *Tithonia diversifolia*, llamada Botón de Oro, Falso Girasol o Girasol Mexicano, representa un recurso fitogenético promisorio, de alto valor nutricional para los herbívoros, rumiantes y no rumiantes, incluso para su empleo en unidades de manejo de fauna silvestre —iguanas, venado cola blanca, entre otros—, con la ventaja adicional de que es una excelente especie para polinizadores (melífera) y ornamental (CICY, 2010).

Se trata de una planta herbácea o arbustiva robusta, que posee hojas claramente lobadas; pedúnculo hinchado abajo de la cabezuela; flores amarillas grandes; brácteas del involucro dispuestas en 4 series y de ápice redondeado a obtuso (a veces las brácteas externas algo puntiagudas); aquenios cubiertos de pelillos recostados sobre su superficie y con el vilano compuesto de generalmente de 2 aristas y escamas. Se localizan en el sur de México hasta Centroamérica y el norte de Sudamérica (Colombia, Ecuador y Venezuela), incluyendo las Antillas (Trópicos). Desde el punto de vista taxonómico se ubica en el reino *Plantae*; Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares); Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas); División: *Magnoliophyta* (plantas con flor); Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas); Subclase: *Asteridae*; Orden: *Asterales* (CONABIO, 2009).

En los trópicos se encuentra a altitudes de entre 200 y 2300 metros. Crece mejor en zonas donde las temperaturas diurnas anuales oscilan entre 15 y 31 °C, pero puede tolerar entre 12 y 38 °C. Prefiere una precipitación media anual en el rango de 1,000 a 2,000 mm, pero tolera de 700 a 2.500 mm (Plantas Tropicales Útiles, 2024), lo cual representa un inconveniente si se quiere establecer en regiones con precipitaciones muy bajas, con es el caso de región central costera del estado de Veracruz, México, donde las temporadas de estiaje suelen ser de hasta diez meses.

Con base en ello se estableció un estudio para determinar el nivel de humedad adecuado para reproducir *Tithonia diversifolia* mediante esquejes sembrados en contenedores de plástico, como una estrategia para producir planta de calidad biológica para los productores regionales, en busca de incentivar la biodiversidad y como alternativa para fortalecer los sistemas agroecosistémicos dada su capacidad de adaptación a múltiples condiciones ambientales, como las que prevalecen en los agroecosistemas subtropicales y tropicales húmedos, subhúmedos y montañosos (Murgueitio et al., 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y clima. El estudio se realizó dentro del Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, localizado en la Carretera Cardel–Chachalacas, km 4.5, municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, el cual se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas Latitud: 19° 24′ 48.9″ N y Longitud: 96° 21′ 09.1″ O, a nueve msnm, con una temperatura promedio

anual de 25ºC, con una precipitación de entre 1100 a 1300 mm y una humedad relativa de 70-85% (Garay-Peralta, et al., 2024), identificado como un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw).

Descripción del Vivero Agroforestal Pecuario

El área de estudio se ubica en el costado sur del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, a 20 metros de la carretera Galván-Chachalacas. Cuenta con un perímetro de 170.63 m lineales y ocupa una superficie de 0.15 hectáreas (1500 m^2) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica del Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: Google Earth, 2026)

Descripción del material biológico. La especie *Tithonia diversifolia* posee un metabolismo C3 (su fijación inicial de CO_2 ocurre mediante la enzima RuBisCO, formando compuestos de tres carbonos [3-fosfoglicerato]), y aunque anatómica y fisiológicamente no es la más apta para este tipo de climas (caracterizados por sus suelos degradados y condiciones de alta radiación), su eficiencia no radica en la vía fotosintética, sino en su rápido recambio foliar y su capacidad de acumulación nutrimental. Esta condición natural le provee de una importante plasticidad fisiológica, que le permite competir funcionalmente con especies C_4 en ambientes cálidos (*Saccharum* spp., *Zea mays* L., *Sorghum bicolor* L., entre otros).

Dentro de los servicios ambientales que provee se destaca su capacidad para captar CO_2 atmosférico mediante la fotosíntesis, almacenándolo como biomasa (Pérez et al., 2009). Es esta abundante

biomasa foliar la que promueve la incorporación de materia orgánica en el suelo, lo que incrementa el contenido de carbono orgánico (Londoño et al., 2019), capacidad biológica que le permite coadyuvar al almacenamiento de carbono en sistemas diversificados (Medina et al. 2009). Esta misma característica permite que su empleo en agroecosistemas pecuarios reduzca la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de biomasa producida (Rivera et al. 2023). Estudios demuestran que en suelos degradados su incorporación puede aumentar un 53.23% el contenido de carbono orgánico en únicamente cuatro meses (Ruge-Rojaset al., 2024).

Para este estudio el material fue colectado manualmente de un rodal ruderal, localizado en dentro de las áreas productivas del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Descripción del material

Tipo de estudio

Por su nivel de profundidad el estudio se catalogó como exploratorio descriptivo; por su naturaleza indagatoria como de corte cuantitativo y por su tipo de evidencia como empírico-analítico.

Diseño experimental, tratamientos y toma de datos. El arreglo experimental incluyó un diseño completamente al azar, con tres tratamientos (niveles de agua: T1=3.750 ml, T2=2.81 ml, T3=1.875 ml por contenedor, aplicados cada tercer día) y diez repeticiones cada uno (macetas de polietileno). Los esquejes tuvieron una longitud de 40cm, con diversos diámetros (1.0 a 1.6 cm) distribuidos aleatoriamente en los tratamientos. El sustrato se elaboró con la mezcla de suelo (50%), arena (25%) y composta (25%), en proporción de 22.68 kg por maceta. El estudio tuvo una duración de 49 días a partir del sembrado de los esquejes en las macetas. Los riegos se realizaron cada 48 horas mediante un recipiente de vidrio graduado, empleándose agua del grifo. Los niveles de humedad y pH se estimaron cada siete días, considerando tres repeticiones por tratamiento, seleccionadas aleatoriamente. Los intervalos de humedad se evaluaron mediante la escala preestablecida por el instrumento de medición (Cuadro 1).

Cuadro 1. Intervalos de humedad y valores (etiquetas) medidos en el sustrato contenido en las macetas donde se sembró T*. diversifolia*.

intervalo	Etiqueta de valoración	
1-4	Bajo	1
5-7	Medio	2
8-10	Alto	3

Variables a medir. 1) Porcentaje de supervivencia. Derivado del conteo del total de plantas vivas después de un periodo de siete días; 2) Porcentaje de esquejes con rebrotes. Obtenido del número de rebrotes viables encontrados en cada esqueje; 3) Longitud de rebrote. Medido a partir de la inserción del rebrote al tallo hasta el límite de su crecimiento apical; 4) Número de hojas por esqueje. Número

de hojas obtenido por conteo en cada esqueje; 5) Longitud de ramas primarias por esqueje. Medido de la inserción de la rama al tallo principal; 6) pH del sustrato y nivel de humedad. Medidos con un aparato “three way meter” (©LY), el cual detecta un rango de humedad de 1 a 10 (de seco a húmedo) y un valor de pH de 3.5 a 8 (Figura 2).



Figura 2. De izquierda a derecha. A. Contenedores para la siembra. B. Preparación del sustrato. C. Corte de los propágulos en campo. D. Siembra. E. Riego programado. F. Medición de variables de respuesta. G. Medición de humedad y pH. H. Respuesta biológica observable a los tratamientos de prueba.

Manejo estadístico. En una primera etapa se determinaron medidas de tendencia central y dispersión, empleándose el programa Excel, versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número promedio de rebrotes por esqueje osciló entre 5.3 y 5.8 para el periodo de 14 a 42 días en el tratamiento 1 (Figura 3), mostrándose menor hacia el último periodo de establecido (49 días). Condición similar tuvieron los tratamientos 2 y 3. La evidencia permite distinguir una mejor respuesta biológica en los esquejes con mayor nivel de humedad (lámina de riego).

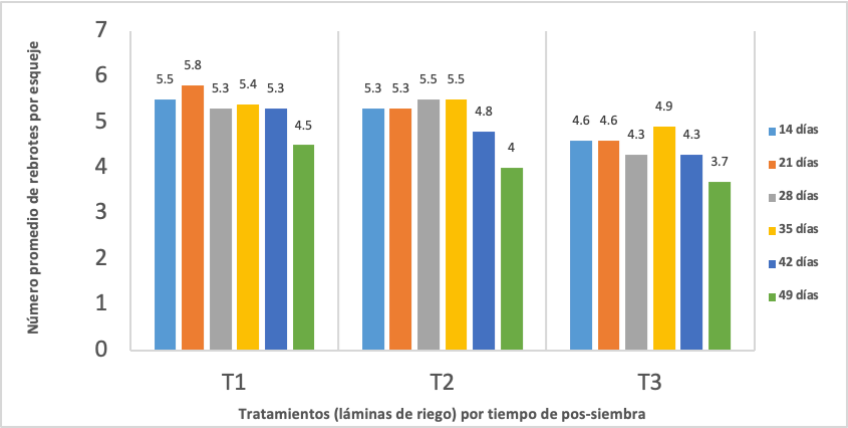


Figura 3. Número promedio de rebrotes por esqueje observados en *Tithonia diversifolia* establecida en contenedores de plástico bajo tres niveles de humedad.

Se destaca la variabilidad encontrada (Cuadro 2), apreciándose coeficientes de variación mayores para el tratamiento 1 a lo largo del periodo de prueba, seguido de los tratamientos 2 y 3. Las fluctuaciones mostradas intrasujetos (intraespecífica) pueden ser atribuidas a las variaciones de los diámetros en los esquejes que, aunque se distribuyeron aleatoriamente entre los tratamientos, pudieron haber afectado la respuesta mostrada.

Cuadro 2. Coeficientes de variación (%) encontrados para el número de rebrotes por esqueje en *Tithonia diversifolia* establecida en contenedores de plástico.

	Coeficiente de Variación % Días pos-siembra					
Tratamientos	14	21	28	35	42	49
T1	43.22	42.79	31.63	35.33	34.84	31.82
T2	35.85	28.05	21.89	27.27	29.17	25.00
T3	29.49	24.21	23.37	26.53	25.58	27.16

Al observar el porcentaje de rebrotes por esqueje en cada tratamiento (Figura 4), se confirmó la viabilidad de reproducir *T. diversifolia* bajo las condiciones en que se condujo el experimento. Al respecto los porcentajes de prendimiento fueron del 100% después de los 14 días de establecidos, tiempo en que se puede afirmar la especie se encuentra en condiciones biológicas estables (autonomía nutricional e hídrica). Puede afirmarse que su balance metabólico empieza a expresarse a partir de este tiempo de establecida, lo que repercute en la calidad de los rebrotes y el desarrollo de su raíz (rizogénesis). Este estadio es importante ya que involucra una profunda transformación de los tejidos del esqueje, en la cual grupos de células de un conjunto diferenciado y organizado inician un proceso de desdirenciación, que conduce a la formación de estructuras meristemáticas o esbozos morfogenéticos radicales (etapa determinante en el proceso) que posteriormente, y por polarización, se transforman en primordios radicales, que una vez formados alcanzarán la fase de desarrollo de los primordios en raíces adventicias (Martínez-Farre y Águila-Sancho, 1989).

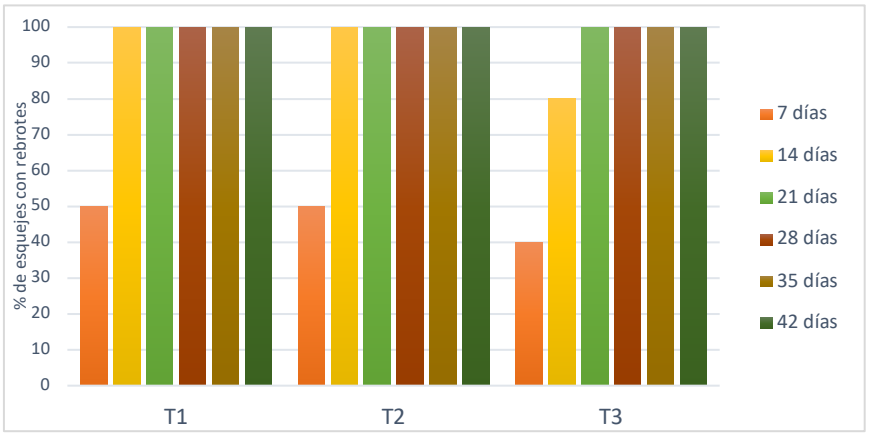


Figura 4. Porcentaje de rebrotes por esqueje observados en *Tithonia diversifolia* establecida en contenedores de plástico bajo tres niveles de humedad.

Respecto al número promedio de hojas por esqueje (Figura 5) se observó un aumento creciente de ellas de los 14 a 35 días posteriores a la siembra en todos los tratamientos, disminuyendo al finalizar el periodo de evaluación (42 y 49 días). En relación con ello, el tratamiento 3 (menor humedad) presentó el mayor número de hojas, del orden de 17.3, 28.6 y 34.8 para los periodos de 14 a 35 días, seguido de los tratamientos 2 y 3 respectivamente. Se destaca una disminución del número para los periodos de 42 y 49 días en todos los tratamientos. Pese a ello, la cantidad de hojas presentes muestra la capacidad biológica de los esquejes, ya que "las hojas son órganos en donde se producen la mayoría de las actividades metabólicas de las plantas, contiene la clorofila y cloroplastos que atrapan la luz del sol para convertirlos en energía para la planta" (Chi-May, 2021, p.5).

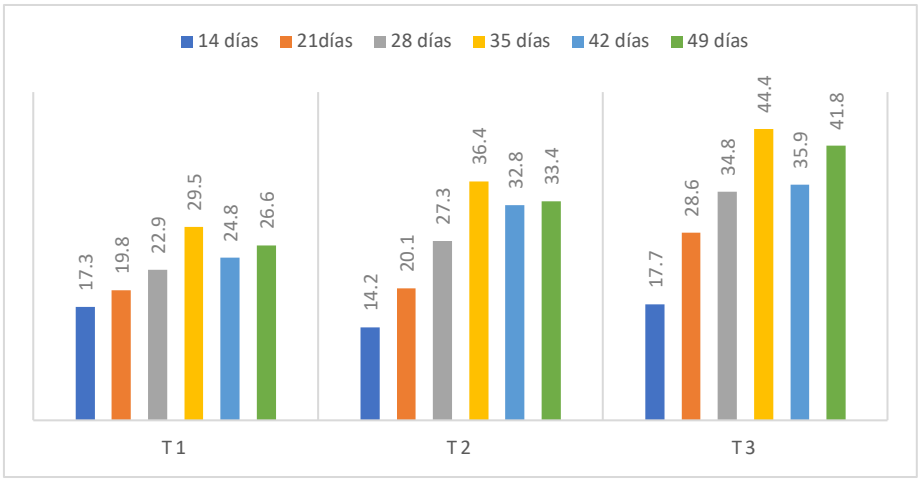


Figura 5. Número promedio de hojas por esqueje observados en *Tithonia diversifolia* establecida en contenedores de plástico con tres niveles de humedad.

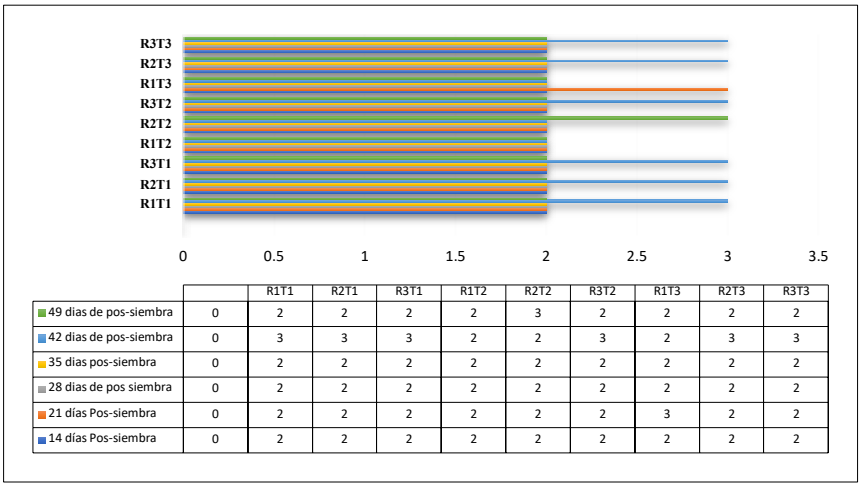
Cabe destacar que, aunque la condición de «media sombra» a la que fueron sometidos los esquejes (control termométrico) pudo provocar una "disminución de su tasa fotosintética" (Ballester-Olmos, 1998, p.47), al parecer no tuvo efecto evidente sobre el desarrollo de los mismos, condición atribuible a la abundante presencia de hojas. En este sentido, debe considerarse que la presencia de hojas determina una mayor tasa de transpiración en el esqueje, así como en el intercambio gaseoso en

general (Ballester-Olmos, 1998), lo que en este caso no afectó su condición biológica, confirmándose la eficacia de los niveles de humedad evaluados (tratamientos) y el manejo al que fueron sometidos. La variación presente (Cuadro 3) mostró coeficientes altos, lo que es atribuible a la expresión genética de la especie, es decir, a las "diferencias entre individuos dentro de una misma especie, la denominada variabilidad intraespecífica" (Comisión Europea, 2024, p.1), aunado a los niveles de humedad contenidos en cada tratamiento, mostrándose superiores en el tratamiento 1 respecto al 2 y 3, a partir de los 28 días posteriores a la siembra.

Cuadro 3. Variabilidad presente en el número promedio de hojas observadas en esquejes de *T. diversifolia* establecidos en contenedores de plástico bajo tres niveles de humedad (tratamientos).

	Coeficiente de Variación %					
	Días después de la siembra					
	14	21	28	35	42	49
T1	24.8	40.33	49.96	49.66	44.27	41.53
T2	40.06	34.07	27.95	30.72	28.23	21.52
T3	38.74	44.37	34.88	38.22	26.26	19.69

Los intervalos de humedad registrados en cada tratamiento (Figura 6), de acuerdo a la escala preestablecida mostraron niveles de entre 2 y 3 (medio-alto), alcanzando el nivel más alto a los 42 días posteriores a la siembra. Esta condición se atribuye a la acumulación de humedad (agua) a lo largo del periodo de prueba, siendo factible recomendar reducir el suministro de agua a partir de los 42 días. Aunado a ello, la abundante cantidad promedio de hojas observadas en los esquejes determina una mayor área foliar disponible para efectuar sus funciones vitales, así como una mayor cantidad de biomasa por unidad, lo que es indicativo de las condiciones de confort en que se encontraron durante el periodo de prueba. De haber estado bajo condiciones de estrés hídrico dichas expresiones biológicas habrían estado disminuidas (Luna-Flores et al., 2012).



		R1T1	R2T1	R3T1	R1T2	R2T2	R3T2	R1T3	R2T3	R3T3
49 dias de pos-siembra	0	2	2	2	2	3	2	2	2	2
42 dias de pos-siembra	0	3	3	3	2	2	3	2	3	3
35 dias pos-siembra	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
28 dias de pos siembra	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
21 días Pos-siembra	0	2	2	2	2	2	2	3	2	2
14 días Pos-siembra	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Figura 6. Niveles de humedad encontrados en el sustrato contenido en las macetas de plástico donde se estableció *T. diversifolia*.

En relación al pH presente en el sustrato, este se mostró homogéneo (7.0) en todo el periodo de prueba y para todos los tratamientos, estado atribuible a la consistencia física del sustrato, lo que pudo determinar un mejor espacio poroso, incrementando la retención de humedad y capacidad de intercambio catiónico, sobre todo por la fracción compuesta de materia orgánica (Cruz-Crespo et al., 2010). Se debe considerar que diversos estudios señalan que "en los sustratos, las propiedades físicas son más relevantes que las químicas, debido a que estas últimas son difíciles de corregir después de establecer el cultivo, por lo que desde el inicio deben ser las más apropiadas posibles" (Cruz-Crespo et al., 2010, p.220).

CONCLUSIONES

La reproducción asexual de *Tithonia diversifolia* mediante el empleo de esquejes sembrados en contenedores de polietileno (plástico) es una alternativa viable para su manejo en condiciones de vivero rural.

Bajo el esquema de manejo empleado es posible obtener plantas con las condiciones biológicas adecuadas para su establecimiento en condiciones de sitio, tanto por su porcentaje de prendimiento, el desarrollo de sus rebrotes y el número de hojas.

Se comprobó que, bajo las condiciones climáticas imperantes en la zona de estudio, caracterizado por periodos de hasta diez meses de sequía, la introducción de *T. diversifolia* es factible, ya que no necesita grandes volúmenes de agua para su reproducción asexual, lo que plantea la posibilidad de introducirla como cultivo, con el fin de aprovechar su potencial biológico, ya sea como alternativa alimenticia para fauna doméstica y nativa, mejoradora de suelos erosionados, proveedora de servicios ambientales (planta melífera para polinizadores) e incorporación en policultivos bajo esquemas de manejo agroecológico.

REFERENCIAS

Ballester-Olmos,A. (1998). *Métodos de multiplicación de plantas ornamentales*. https://redivia.gva.es/bitstream/handle/20.500.11939/8600/1998_Ballester-Olmos_M%C3%A9todos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chi-May, F. (2021). *Manual de propagación de plantas para viveros*. Jardín Botánico Regional "Roger Orellana" del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY). https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/sitios/CircuitoEtnobiologico/Repositorio/Documentos/2021_07%20Manual%20de%20propagaci%C3%B3n%20Plantas%20Vivero.PDF

CICY. (2010). *Flora de la península de Yucatán*. Ficha técnica. https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/ficha_virtual.php?especie=1007

Comisión Europea. (2024). *Functional implications of inter- vs. intraspecific trait diversity in European forests*. Albert-Ludwigs-Universitaet Freiburg. https://cordis.europa.eu/article/id/190757-the-variability-within-tree-species/es

CONABIO. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. Ficha técnica. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/tithonia-diversifolia/fichas/ficha.htm

Cruz-Crespo, E., Sandoval-Villa, M., Volke-Haller, V., Ordaz-Chaparro, V., Tirado-Torres, J. L. y Sánchez-Escudero, J. (2010). Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 219-229. https://www.redalyc.org/pdf/573/57316064004.pdf

Garay-Peralta, I., Villarruel-Fuentes, M., Díaz-Peón, A. L., Chávez-Morales, R., Herrera-Alarcón, J. (2024). Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35 (54337), 1-13. https://doi.org/10.15517/am.2024.54337

Londoño J, Mahecha L y Angulo J. (2019). Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA,* 11(1): 28-41

Luna-Flores, W., Estrada-Medina H., Jiménez-Osornio, J. J. M., y Pinzón-López, L. L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.

Martínez-Farre, F.J. y Águila-Sancho. (1989). El enraizado de esquejes de plantas ornamentales. Horticultura, 50, 9-42. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_1989_50_9_42.pdf

Medina MG, García DE, González ME, Cova LJ y Moratinos P. (2009). Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 121-134.

Murgueitio, E., Xóchitl, M., Calle, Z., Chará, J. D., Barahona, R., Molina, C. H. y Uribe, F. (2015). *Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina.* En: Montagnini, F.; Somarriba, E.; Murgueitio, E.; Fassola, H. y Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402. CATIE Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV Cali, Colombia. 454 pp.

Myriam del Valle, C., Arana, M. D., Robledo, G. L. (2025). Interacciones biológicas en un mundo cambiante. *Lilloa* –Suplemento N° 2, 3-8. doi: https://doi.org/10.30550/j.lil/2230

Plantas Tropicales Útiles. (2024). *Tithonia diversifolia*. https://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Tithonia+diversifolia

Pérez A, Montejo I, Iglesias J, López O, Martín G, García D, Idolkis M y Hernández A. (2009).*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) *A. Gray. Pastos y Forrajes* 32(1), 1-15.

Ruge-Rojas MF, Contreras-Mejía ML y Figueroa-Del Castillo L. (2024). *Tithonia diversifolia*: Promising species in the recovery of cattle soils; “Santa Isabel” Farm, Sucre - Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 19(1), 99-111.

Villaseñor, J. L. & Ortiz, E. (2014). Biodiversidad de las plantas con flores (División *Magnoliophyta*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *85* (Supl. ene), S134-S142. https://doi.org/10.7550/rmb.31987

ENMIENDAS REGENERATIVAS PARA EL MANEJO ORGÁNICO DEL SUELO Y LA CONSERVACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA BIODIVERSIDAD

Manuel Villarruel Fuentes[1]
Josué Ramos Román [2]
Yafet Martín Rosado Rosado[3]

RESUMEN.

La agricultura y ganadería desarrollada en las regiones tropicales, intensiva y comercial, asentada en el manejo convencional de los sistemas de producción a partir del uso excesivo de insumos químicos, ha disminuido la biodiversidad, empobrecido los suelos (acidificándolos), erosionado el germoplasma nativo y contaminado los cuerpos de agua. Bajo este contexto, es urgente diseñar y validar estrategias que en calidad de "enmiendas regenerativas" puedan ser transferidas y adoptadas por los productores. **Objetivo**. Validar un conjunto de enmiendas regenerativas para la recuperación de la calidad física, química y biológica del suelo, la promoción de la biodiversidad vegetal y edáfica y el diseño de sistemas agroforestales pecuarios. **Metodología**. Las estrategias se probaron dentro del Vivero Agroforestal Pecuario del TecNM/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, mediante "rodales experimentales", establecidos como bancos de germoplasma. Las especies estudiadas incluyeron: *Cajanus cajan*, *Bauhinia monandra* y *B. purpurea*, *Morus alba*, *Bambusa spp*., *Hibiscus rosa-sinensis*, *Phaseolus vulgaris* (silvestre), *Centrosema plumieri* y *Tithonia diversifolia*. Se estudiaron: interacciones biológicas entre especies, empleo de abonos orgánicos sólidos y líquidos, uso de acolchado agroecológico, manejo de densidades de siembra, fenología, producción de vaina y semilla y su morfometría, niveles de humedad en suelo, procesos de escarificación, viabilidad de la semilla y producción de biofermentos. **Resultados**. Se cuenta con una propuesta tecnológica a partir del manejo de bancos de germoplasma forestal de interés pecuario, bajo condiciones de vivero rural, que va de la selección de frutos y semillas, su tratamiento pre-emergente, la siembra en charolas germinadoras y bolsas, el diseño y establecimiento de rodales en líneas, y su manejo bajo distintos tipos de abonado orgánico que incluye el empleo de compostas y biofermentos. **Conclusiones**. Las enmiendas evaluadas permiten el rescate y la recuperación de germoplasma nativo e introducido mediante su manejo agroecológico y orgánico,

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. dr.villarruel.fuentes@gmail.com
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

como alternativa para la diversificación productiva en la región.

Palabras clave: vivero, germoplasma, regenerativo, leguminosas, ecosistémico.

INTRODUCCIÓN

La crisis planetaria evidenciada por el marcado deterioro ambiental condiciona la existencia de todos los ecosistemas existentes, incluyendo la supervivencia humana (OCDE, 2025). Ante este contexto es necesario reconocer el papel que la agronomía ha desempeñado a lo largo de las últimas décadas como generadora de alimentos, constituyéndose en la base sustantiva del desarrollo sociedad y garante de la soberanía nacional.

Alineada con los procesos civilizatorios, la agronomía ha garantizado el crecimiento económico de los Estados, su estabilidad política y condiciones de progreso bajo entornos de paz y bienestar. Sin embargo, los esquemas bajo los cuales ha desplegado sus funciones productivas son hoy en día severamente cuestionadas, al sostener sus objetivos rectores sobre la base de una eficacia que mandata producir a cualquier costo, sin reparar en el daño que a largo plazo ha provocado en el ambiente y la naturaleza —humana y no humana— (Villarruel-Fuentes, 2015). Se trata de una actividad profesional asentada en principios económicos, cuyo paradigma se orienta hacia la máxima productividad, rentabilidad y beneficio a corto plazo.

Desde los albores de la Revolución Verde, el empleo de solo un reducido grupo de plantas propagadas mediante semillas mejoradas, establecidas en suelos donde antes hubo bosques y selvas, manejadas bajo esquemas de control químico, tanto en el renglón fitosanitario como nutricional —insecticidas, herbicidas, fungicidas, reguladores de crecimiento, fertilizantes, entre otros— ha sido el denominador común de los sistemas productivos. El advenimiento de la Revolución Biotecnológica exacerbó esta condición, consolidando a la agronomía en una actividad de altos insumos.

Sin embargo, existe una corriente de pensamiento que hunde sus raíces en la cosmovisión de los pueblos originarios de América Latina, que desde inicios de la década de los años setenta ha cobrado importancia, tanto en México como en otros países de Latinoamérica (Caso-Cueva et al., 2022). Se trata de la agroecología, entendida como un modelo de producción sustentable, un movimiento social campesino, un quehacer científico y una expresión cultural fundamentada en el diálogo de saberes y la relación armónica entre el ser humano y el ambiente natural. Su relevancia radica en su devenir histórico-cultural que le confiere una sólida base teórica y conceptual, acompañada de una matriz de saberes experienciales.

Desde muchas vertientes conceptuales, la agroecología ha sido abordada como objeto de estudio, asumiéndola como modelo, enfoque o perspectiva, constituyéndose en fundamento teórico o ruta

metodológica que identifica, define, orienta, diseña y opera en contextos problemáticos complejos. A partir de sus campos de intervención es posible lograr soluciones productivas sostenidas en la visión sistémica de la realidad, la cual se nutre de los principios de la interdisciplina y transdisciplina.

Sobre esta base, existe un movimiento que busca reivindicar las formas y los medios con los que la agronomía concibe y aborda los procesos productivos, transformando las prácticas profesionales de la ingeniería agronómica tradicional, industrial y de altos insumos, denominado “enmiendas orgánicas”, concebidas como estrategias empleadas “para mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo, permitiendo aumentar los macro y micronutrientes necesarios para que las plantas mejoren su producción.” (Murillo-Montoya et al., 2020, p.58). en su sentido literal “enmendar significa corregir, reparar o rectificar, en nuestro caso, enmendar en agricultura significaría corregir un problema o una deficiencia del suelo de cultivo” (AEFA, 2022, p.1). Si bien las enmiendas van más allá de solo corregir deficientes en el suelo, ya que también buscan protegerlo, enriquecerlo o mejorarlo, “las enmiendas no alimentan a la planta como tal, sino que transforman el suelo para que todo lo demás funcione mejor” (FERTEC, 2025, p-1).

De esta manera las enmiendas agrícolas, de interés edáfico, se asumen parte de la denominada «agricultura orgánica», la cual busca sustituir los insumos químicos por los orgánicos, sin mayores pretensiones de cambio. Las enmiendas orgánicas más comunes son el estiércol fermentado, los biofermentos en general, la lombricomposta, la composta de residuos orgánicos, el bocashi, entre otros; que en menor o mayor medida mejoran la textura del suelo, su capacidad de retención de agua, promueven la presencia de la microbiota edáfica y ayudan a corregir la compactación, la acidez o la falta de materia orgánica del suelo.

Desde esta vertiente, es posible alcanzar mejores resultados si dichas enmiendas son abordadas desde una visión agroecológica, adaptándolas a partir de las interacciones entre los componentes bióticos y abióticos presentes en los sistemas de producción, lo cual incluye desde luego el suelo. Con base en ello se planteó el diseño y desarrollo de «enmiendas agroecológicas», a partir del establecimiento de rodales artificiales, instaurados como bancos de germoplasma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y clima. El estudio se realizó dentro del Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, localizado en la Carretera Cardel–Chachalacas, km 4.5, municipio de Úrsulo Galván, Veracruz, el cual se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas Latitud: 19° 24′ 48.9″ N y Longitud: 96° 21′ 09.1″ O, a nueve msnm, con una temperatura promedio

anual de 25ºC, con una precipitación de entre 1100 a 1300 mm y una humedad relativa de 70-85% (Garay-Peralta, et al., 2024), identificado como un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_2).

Descripción del Vivero Agroforestal Pecuario. El área de estudio se ubica en el costado sur del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, a 20 metros de la carretera Galván-Chachalacas. Cuenta con un perímetro de 170.63 m lineales y ocupa una superficie de 0.15 hectáreas (1500 m^2) (Figura 1).

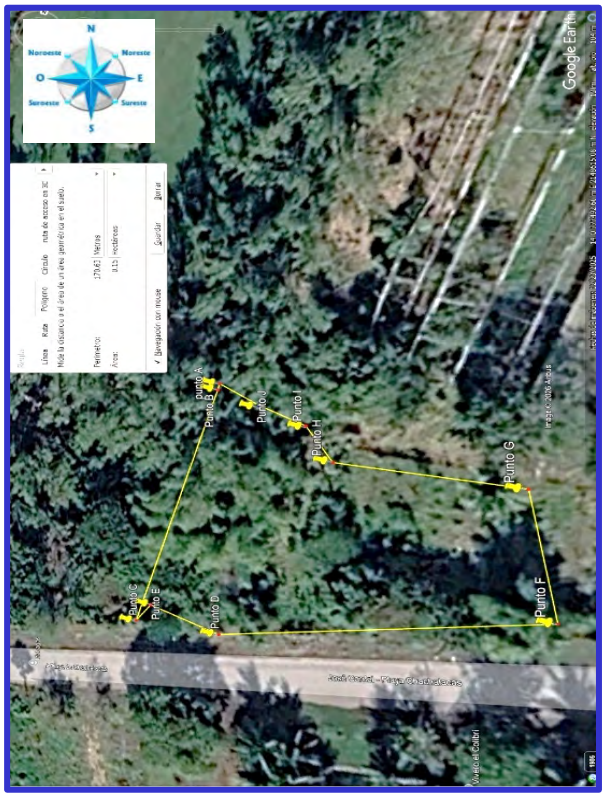


Figura 1. Ubicación geográfica del Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: Google Earth, 2026)

Descripción del material biológico. Los rodales se integraron de las especies *Bambusa spp., Cajanus cajan, Bauhinia monandra, Centrosema plumieri*, *Phaseolus vulgaris silvestre*, *Hisbicus rosa-sinensis* y *Morus alba*, establecidos como bancos de germoplasma. Las plantaciones se organizaron espacialmente por líneas, con el propósito de realizar evaluaciones dinámicas y estáticas de cada especie.

Periodo y tipo de estudio. La validación de las enmiendas agroecológicas se desarrolló de 2020 a 2026, mediante evaluaciones experimentales y no experimentales, de corte descriptivo-exploratorio, correlacional y explicativo.

Evaluaciones realizadas. Contemplaron desde los procesos de selección de vaina y semilla, manejo pregerminativo, siembra en charolas y bolsas, trasplante a condiciones de sitio, manejo agroecológico de rodales, identificación de relaciones funcionales y flujos de energía, control de arvenses,

caracterización de fenofases, estimaciones de producción y morfometría de vaina y semilla. Se probaron técnicas para la producción de biofermentos, compostas y acolchado agroecológico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las enmiendas agroecológicas

Acolchado agroecológico. Cobertura de la superficie del suelo con hojarasca de la plantación de *Bambusa spp*., en rodales de *Morus alba, Cajanus cajan e Hisbicus rosa-sinensis*. Generación de flujos de energía dentro del sistema agroecológico (Figura 2). Esta práctica consiste en colocar una cubierta sobre la superficie del suelo, con el objetivo de establecer relaciones suelo-planta-atmósfera favorables para el crecimiento óptimo del cultivo, cuyo principal efecto es mejorar su productividad, debido al control de las arvenses, evitando el calentamiento del suelo y su evaporación del agua. Este tipo de acolchado no contamina el ambiente y reduce el nivel de erosión (Hernández-Pinto et al., 2021).



Figura 2. Acolchado agroecológico en *Cajanus cajan*. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

Aplicación física de la fracción líquida de biofermentos anaeróbicos. Cobertura del área foliar de *Cajanus cajan* con biofermento Supermagro regional (Figura 3). La utilización de este tipo de biofertilizantes es una oportunidad de desarrollar y expandir el potencial productivo de los suelos, elevando la calidad nutricional de los alimentos, sin dañar el ambiente, con la ventaja de que se pueden producir con elementos que existen en el medio donde se ubique la plantación (CEUTA-Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiadas, 2006). Para este caso se empleó como base excretas secas de bovino, leche bronca, melaza de caña de azúcar, hojas verdes de plátano o banano, levadura comercial y agua.

Se debe destacar que los biofermentos elaborados a partir de “estiércol vacuno como principal componente son ricos en macro y micronutrientes, elementos que ayudarán al cultivo, para un mejor

desarrollo vegetativo, concluyendo en una producción sana sin residuos químicos que dañen al consumidor final de la cadena agrícola" (Zuñiga, 2016, p. 54).



Figura 3. Aplicación foliar de la fracción líquida de biofermento en *Cajanus cajan*. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

Abonado orgánico de Cajanus cajan. Aplicación de composta obtenida de residuos de cocina y materia orgánica de árboles y arbustos, producida en el área de compostaje del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (Figura 4). El compostaje transformar los residuos orgánicos sin procesar (en bruto) en humus, mediante la actividad de la microbiota del suelo (Marriott y Zaborski, 2022). Se trata de "un proceso de degradación aerobia cuyos principales parámetros son temperatura, aireación, humedad, porosidad y relación carbono/nitrógeno (C/N)" (Vega-Armenta et al., 2025, p.66).

La aplicación de compost directamente al suelo afecta sus propiedades físicas, químicas y biológicas, favorece su densidad aparente, mejora la tasa de infiltración, la conductividad hidráulica y contenido de agua, además de la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados y su porosidad. Desde el punto de vista agroecológico "incrementa la actividad microbiana y aporta y retiene nutrimentos para transformarlos en formas disponibles para las plantas. Además, la materia orgánica humidificada mejora el desarrollo de las plantas" (Vega-Armenta et al., 2025, p.66).



Figura 4. Abonado orgánico de *Cajanus cajan* con composta. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

Se sabe que la fertilización química mejora rápidamente una deficiencia en el suelo, no así el abonado orgánico, el cual necesita mayor tiempo para actuar sobre la planta, en la medida en que puede incorporarse al suelo y estar disponible los nutrientes para su asimilación. Aunque para lograr un mejor efecto del abonado es indispensable preparar bien el suelo, a largo plazo mejoran su fertilidad,

estabilizan el pH y fomentan los ciclos de fijación, descomposición y liberación de nutrientes (Gallego-Oviedo, 2022).

Aplicación en Cajanus cajan de lombricomposta elaborada con cascarilla de café de origen comercial (Figura 5). El lmbricomposteo es el proceso que aprovecha la acción conjunta de microorganismos y lombrices para descomponer material orgánico y obtener un producto benéfico para el suelo (humus de lombriz). Este material es producido a partir de residuos orgánicos, y concentra un alto contenido de nutrientes que ayudan a mejorar los suelos agrícolas (Ruiz-Morales, 2021).

La producción de composta a partir de lombrices empleando subproductos del café —pulpa, mucílago, cascabillo u hojas de podas—, es una alternativa práctica y económica para obtener un excelente abono, el cual aporta al suelo fertilidad, mejora la estructura, aireación, retención de agua y nutrientes (Navarro, 2023).



Figura 5. Abonado orgánico con lombricomposta en *Cajanus cajan*. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

El humus de lombriz al poseer flora microbiana facilita la asimilación de sus nutrientes por las plantas. Su contenido de ácidos fúlvicos estimula el enraizamiento; pero además se utiliza como mejorador de suelos o sustituto de fertilizantes químicos. Tiene la capacidad de absorber metales pesados como plomo y arsénico, y además su pH cercano a la neutralidad lo hace eficiente para cultivos de plantas delicadas (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

Asociaciones de leguminosas nativas (policultivos) (Figura 6). Establecimiento y evaluación de un banco de leguminosas asociadas en campo: *Cajanus cajan*, *Centrosema plumieri* y *Phaseolus vulgaris silvestre*. Una de las mayores ventajas de asociar solo leguminosas, sin gramíneas, es que se evita la extracción de grandes cantidades de nitrógeno por parte de éstas. Las leguminosas, al tener la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo no compiten por este componente, enriqueciéndolo.

El potencial productivo de las leguminosas es diverso en las zonas tropicales, destacándose sobre todo la calidad y digestibilidad de su forraje, el cual varía muy poco durante el año, incluso su producción de forraje es alta durante la época de sequía, lográndose una mayor estabilidad ecológica de la pradera; además, mejora la actividad biótica del suelo y su captura de carbono (Cab-Jiménez,

2011, p.11). Asociado a ello, “una contribución importante de las leguminosas es su aporte de M.O. al suelo, favoreciendo de esta manera una mayor tasa de mineralización de N y una adecuada relación C:N” (Roncedo y Pérez, 2005, p.66).

A pesar de existir amplia información sobre su potencial como “mejoradoras de las propiedades del suelo, es necesario recopilar datos sobre especies tropicales que les faciliten a los productores y programas regionales y locales la selección de las más apropiadas para su uso” (Matías-Ramos et al., 2023, p.532).



Figura 6. Asociación de *Cajanus cajan, Centrosema plumieri y Phaseolus vulgaris silvestre*. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

Elaboración de biofermentos anaeróbicos no enriquecidos (Figura 7). Los biofertilizantes —llamados también bioles o biofermentos—, son abonos líquidos producidos a través de la fermentación del estiércol de ganado vacuno mediante la acción de microorganismos del género *Lactobacillus* (presentes en la leche y suero). Adicionalmente contiene azúcares (melaza de caña), sólidos disueltos de la materia orgánica degradada y agua. La calidad del biofertilizante variará en función a los digestores utilizados, época de preparación, composición química y microbiológica, especialmente del estiércol que se emplea para su elaboración (Reynoso-Zárate et al., 2022).



Figura 7. Elaboración de biofermentos no enriquecidos. Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

Los biofermentos pueden disminuir la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, “al colonizar las superficies de las plantas, los microorganismos presentes en este tipo de abonos fermentados presentan relaciones antagónicas y de competencia con diferentes microorganismos fitopatógenos, colaborando de esta forma en la prevención y combate de enfermedades” (Pacheco, 2007, p.2).

Producción orgánica de hortalizas mediante diseño horizontal en condiciones de invernadero rural. Producción de cilantro (*Coriandrum sativum*) en tubos de PVC (Figura 8) colocados horizontalmente, empleando la parte sólida del biofermento "Supermagro regional", suelo+arena y __. Los objetivos de la producción de hortalizas más importantes son: contar con alimentos y la nutrición de consumo rápido y fresco, diversificar la dieta familiar, mejorar la producción de alimentos y producir alimentos todo el año (FAO, 2021, p.5).



Figura 8. Producción orgánica de cilantro (*Coriandrum sativum*). Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., Méx. (Fuente: propiedad del autor)

La agricultura orgánica, biológica, alternativa o ecológica trabaja en un sistema cerrado y utiliza los recursos locales, evita toda forma de contaminación que pueda resultar de las prácticas agrícolas, produce alimentos de alta calidad nutritiva y en cantidad suficiente, reduce el uso de energía fósil (derivados del petróleo) al mínimo en la práctica de la agricultura, hace posible que los agricultores ganen el dinero para su sustento diario a través de su trabajo y desarrollen su potencial como seres humanos, usa y desarrolla tecnología adecuada basada en el conocimiento de los sistemas biológicos, emplea sistemas descentralizados de elaboración y distribución de productos y mantiene y preserva la vida silvestre y su medio (Mora, 1994).

Pero incluso la agricultura orgánica puede ir más allá, al facilitar la micro producción familiar en azoteas y patios verdes, donde se pueden cultivar orgánicamente las variedades agrícolas comestibles de cada localidad o región, mejorando la dieta alimentaria de la población y abaratando los costos por concepto de alimentación familiar. Permite además que la población pueda recuperar la capacidad de generar sus propios alimentos en una situación de modernización (Salinas, 2014).

CONCLUSIONES

Es posible operar, mediante estrategias agroecológicas, un manejo integral de rodales arbóreos, bajo el enfoque de la agricultura orgánica.

Las enmiendas agroecológicas diseñadas y probadas dentro del Vivero Agroforestal Pecuario permiten el manejo holístico del sistema, empleándose eficientemente los insumos orgánicos disponibles,

potenciándolos a partir de la integración de interacciones funcionales entre los componentes bióticos del sistema.

Se demuestra que la sustentabilidad de los sistemas productivos puede ser posible, integrando prácticas de manejo amigables con el ambiente.

Adicionalmente, los enfoques sistémicos, interdisciplinarios y transdisciplinarios, empleados en los procesos de diseño, operación, evaluación y divulgación de los esquemas de manejo, se constituyen en escenarios propicios para el desarrollo de metahabilidades en los estudiantes de Agronomía y Biología, quienes mediante comunidades de dialogo y aprendizaje, pueden educarse ambientalmente, mientras se forman científicamente.

REFERENCIAS

AEFA. (2022). *Enmienda agrícola*. Glosario de agricultura. https://aefa-agronutrientes.org/enmienda-agricola

Cab-Jiménez, F.E. (2011). *Morfología y potencial forrajero de leguminosas no convencionales, nativas de México, para la producción en pastoreo extensivo en el trópico.* Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. México. http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/574/Cab_Jimenez_FE_DC_Ganaderia_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Caso-Cueva, A.M., Ramírez-Juárez, J., Pérez-Ramírez, N., Ocampo-Fletes, I. y Méndez-Espinoza, J.A. (2022). Análisis geohistórico de la agroecología como movimiento social en México. Estudios Sociales, Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 32(59), 1-20. https://www.scielo.org.mx/pdf/esracdr/v32n59/2395-9169-esracdr-32-59-e221160.pdf

CEUTA-Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiadas (2006). Tecnologías apropiadas. Biofertilizantes. Nutriendo cultivos sanos. Programa de Agroecología. https://www.ciaorganico.net/documypublic/822_Biofertilizantes-_cultivos_sanos.pdf

FAO. (2021). Producción de hortalizas. Proyecto: Ayuda Humanitaria de Asistencia y Recuperación para Comunidades Afectadas por la Sequía en el Chaco. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a130f016-fc61-4287-868a-59499acb47c4/content

FERTEC. (2025). *Enmiendas del suelo: claves para mejorar la estructura y fertilidad de tu parcela*. https://www.fertecagro.com/noticias/enmiendas-del-suelo-claves-para-mejorar-la-estructura-y-fertilidad-de-tu-parcela

Gallego-Oviedo, Y. (2022). *Compostaje y lombricultivo*. Red Educativa Digital Descartes. https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/pdfs/Compostaje_y_lombricultivo.pdf

Hernández-Pinto, C, D., Basto-Pool, C. I., Hernández-Pinto, M. J. (2021). Acolchados vegetales: una alternativa hacia una agricultura sustentable. *Boletín de la SCME*, 26-30. https://scme.mx/wp-content/uploads/2021/12/boletinSCMEnov2021-10-acolchados.pdf

Marriott, E. y Zaborski, E. (2022). *Preparación y uso de compost para la agricultura orgánica*. eOrganic. https://eorganic.org/node/35223

Matías-Ramos, M., Hidalgo-Moreno, C. I., Fuentes-Ponce, M., Delgadillo-Martínez, J. J. y Etchevers, D. (2023). Potencial de especies de leguminosas mejoradoras de la fertilidad del suelo en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(4), 531-541. https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v14n4/2007-0934-remexca-14-04-531.pdf

Mora, F. (1994). Algunas consideraciones para la producción orgánica de hortalizas. Agronomía Mesoamericana, 5, 171-183.

Murillo-Montoya, S. A., Mendoza-Mora, A., Fadul-Vasquez, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58-68. https://doi.org/10.23850/24220582.2503

Navarro, Y. (2023). *Guía para la producción de lombricompost. Con subproductos de café y lombriz Eisenia foetida.* CEDICAFÉ-ANACAFÉ. https://n9.cl/qgtsr

OECD. (2025). *Perspectivas ambientales sobre la triple crisis planetaria. Interés, evolución y vínculos políticos*. https://www.oecd.org/en/publications/environmental-outlook-on-the-triple-planetary-crisis_257ffbb6-en/full-report.html

Pacheco, F. (2007). Lactofermentos. Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. Instituto Nacional de Aprendizaje. https://www.rapaluruguay.org/sitio_1/organicos/articulos/Lactofermentos.pdf

Reynoso-Zárate, A. F., Cosme-De La, R. C., Adama- Rojas, C. E., Juscamaita-Morales, J. y Quispe-Huincho, M. R. (2022). *Manual técnico para la producción de biofertilizante líquido acelerado*. Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA. https://n9.cl/9uvvi3

Roncedo, C.S. y H.E. Pérez. (2005). Intersiembra de leguminosas forrajeras en pasturas degradadas de Chloris gayana Kunt cv. Pioneer. *Pasturas Tropicales*, 27(3), 66-69. https://n9.cl/vqi7c

Ruiz-Morales, M. (2021). *Taller de elaboración de lombricomposta: porque tener lombrices nos beneficia a todos*. Recurso electrónico. Universidad Iberoamericana, A.C. https://portaladmin.ibero.mx/uploads/taller_de_lombricomposta_f6a646bada.pdf

Salinas, E. (2014). La agricultura orgánica como modelo alternativo. M. Ramos, M. Tavera, J. Quintanilla, G. Chaparro, F. Iglesias. (eds.), Desarrollo Sustentable y Finanzas. Tópicos Selectos de Recursos-©ECORFAN-Bolivia, Sucre, Bolivia. https://www.ecorfan.org/bolivia/series/Topicos%20selectos%20de%20Recursos_V/Articulo%209.pdf

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. Estrategias de acompañamiento técnico*. 14. Humus de Lombriz. https://n9.cl/q0i8m

Vega-Armenta, R. M., Ruelas-Ayala, R. D., Sañudo-Torres, R. R. y Félix-Herrán, J. A. (2025). Compostaje de residuos sólidos orgánicos y su efecto en especies forestales de importancia económica en el norte de Sinaloa. *Rev. Int. Contam. Ambie*., 41, 65-75. https://doi.org/10.20937/RICA.55125

villarruel-Fuentes, M. (2015). Ciencia y sustentabilidad: la búsqueda de un paradigma emergente. En: J. Tepetla, C. Pulido (eds.) Educación Ambiental desde la Innovación, la Transdisciplinariedad e Interculturalidad, Tópicos Selectos de Educación Ambiental. ©ECORFAN-Veracruz. https://www.ecorfan.org/actas/educacion_ambiental_I/ACTA_Educaci%C3%B3n_Ambiental_Tomo_1.pdf

Zuñiga, W., Melesio, J., Cortés, V. Y Raya, L. (2016). Evaluación de un biofermento elaborado a partir de extractos naturales en cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea itálica*). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 3(8), 53-56. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Ciencias_Naturales_y_Agropecuarias/vol3num8/Revista_Ciencias_Naturales_V3_N8_8.pdf

ESCARIFICACION DE SEMILLAS DE TRES ESPECIES DE LEGUMINOSAS NATIVAS COLECTADAS EN CONDICIONES DE ACAHUAL

Josué Ramos Román [1]
Manuel Villarruel Fuentes[2]
Aris Lucia Ramos Castro [3]

RESUMEN.

Los sistemas de producción agropecuaria centrados en el manejo de monocultivos han provocado la pérdida de distintas especies de flora nativa e introducida. Dicha condición erosiona el germoplasma vegetal, disminuye la biodiversidad y reduce la cobertura natural de los suelos. Bajo estas condiciones es indispensable el rescate y propagación de dichas especies, particularmente de aquellas con potencial agroecológico. **Objetivo**. Evaluar distintas técnicas pre-emergentes en semillas de *Cajanus cajan*. **Metodología**. Los tratamientos pre-emergentes se evaluaron dentro del Laboratorio de Biodiversidad del TecNM/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Las semillas se colectaron manualmente, directamente de los bancos de germoplasma establecidos en el Vivero Agroforestal Pecuario. Los tratamientos consistieron en inmersión en agua caliente (60^0C y 80^0C) a distintos tiempos (2, 4 y 6 min), además del corte en la cubierta de la semilla (muesca) sumergida a temperatura ambiente. **Resultados**. El mejor tratamiento pre-emergente en relación al % de germinación fue la combinación de dos minutos de inmersión a 80^0C (5 días posteriores a la siembra), mostrándose una respuesta homogénea respecto a días de la siembra a la aparición de la segunda hoja verdadera (7 días: 50+1 del total de semillas). La técnica de corte (muesca) mostró mayor eficacia para la aparición de la primera hoja verdadera a los 5 días pos-siembra, con inmersión en agua a temperatura ambiente a 2 y 4 minutos. **Conclusiones**. Los tratamientos pre-emergentes mostraron eficacias germinativas adecuadas para su reproducción en condiciones controladas.

Palabras clave: escarificación, agua caliente, muesca, leguminosa, frijol de árbol.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. dr.villarruel.fuentes@gmail.com
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván

INTRODUCCIÓN

Aunque “las condiciones edafoclimáticas en los trópicos húmedos y subhúmedos del continente americano se han modificado ostensiblemente en las últimas décadas, debido principalmente al cambio climático” (Villarruel-Fuentes et al., 2025, p.3), muchas leguminosas, nativas e introducidas, se han podido adaptar a los ambientes antropizados, de escasa fertilidad en sus suelos, déficit hídrico y predominio de monocultivos. Como indica Villagra et al., (2010) y Cenzano et al., (2016), citado por Bianco, (2018):

> Se ha observado que las leguminosas nativas son capaces de adaptarse a circunstancias climáticas estresantes. Sus adaptaciones abarcan diversos rasgos morfológicos, físicos, anatómicos, bioquímicas y fisiológicos que constituyen estrategias para escapar, evitar o tolerar el estrés hídrico y la salinidad, entre otros elementos. (p.3)

Sobre ello Olivares-Pérez et al., (2011), destacan que “las leguminosas ofrecen una amplia variedad de beneficios tanto para los animales como para el ambiente” (p. 39). Al respecto Portillo-López et al., (2019), destacan que dichas leguminosas poseen “la capacidad de fijar nitrógeno de forma biológica, mejorar las particularidades físicas, bioquímicas del suelo, aumentar la población y acción de la fauna del suelo, e incrementar la biodiversidad” (p.93). Aunado al hecho de que “estas plantas también aumentan la población de organismos favorables en el suelo, contribuyendo a su regeneración, principalmente en suelos degradados o erosionados” (Villarreal, 1994, p.31).

De acuerdo con algunos autores (Ruiz de Galarreta, Prohens y Tierno, 2016 y Berretta & Rivas, 2001) es importante realizar investigaciones dirigidas a identificar nuevas variedades de leguminosas, con el fin de incrementar la variedad genética del germoplasma disponible, lo que resulta esencial para afrontar los desafíos que plantean los suelos productivos agrícolas.

Al margen de estos beneficios, las semillas de leguminosas en su mayoría presentan ciertos problemas para su establecimiento natural dentro de los sistemas agrícolas, derivado principalmente de su bajo porcentaje de germinación, producto de diversos factores como el endurecimiento de la cubierta externa (testa), que impide el ingreso de agua, temperatura y luz, factores necesarios para el desarrollo del embrión. Cuando uno o varios factores ambientales no son adecuados para las semillas —incluso cuando sean completamente viables— estas no germinan, encontrándose en estado de quiescencia.

Otra causa que afecta la germinación es el estado de latencia que poseen ciertas semillas. Sobre el particular Copelan (2001) señala que “la latencia es el estado en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a mecanismos físicos y fisiológicos de la misma” (p.46). Este fenómeno afecta la germinación de la semilla a pesar de tener las condiciones favorables, por lo que en la mayoría de los casos deben ser escarificadas. De

no someterse a un tratamiento pregerminativo, son las arvenses las que, en condiciones de sitio, pueden expresar un rápido crecimiento. Blanco y Leyva, (2007), indican “que las arvenses representan uno de los problemas severos de la agricultura mundial, ya que su acción invasora facilita su competencia con los cultivos, a la vez que pueden comportarse como hospederas de plagas y enfermedades” (p.2).

Si bien se han realizado numerosas investigaciones al respecto sobre este fenómeno, aún se requiere información sobre cómo se manifiesta la variación en la capacidad germinativa de las semillas, en distintos tratamientos y bajo diferentes condiciones ambientales (Espitia et al., 2016; Toledo-González et al., 2019). Desde esta perspectiva se destaca la importancia de la conservación y reproducción del germoplasma nativo, como una estrategia para su rescate y conservación con fines ecológicos y productivos.

Diversos investigadores (Humaña, 2024 y Sanabria et al., 2004) coinciden en que los métodos de escarificación han demostrado incrementar el porcentaje de germinación en semillas de leguminosas forrajeras. Dichos métodos van desde los tratamientos químicos (con ácidos), hasta los físicos, tales como el lijado y el «muesqueo», los cuales tienden a mostrar distintos niveles de eficacia, en función al tipo de semilla y especie.

Con la evaluación de los métodos de escarificación en semillas de leguminosas, —tanto arbustivas como herbáceas—, se puede determinar su uso potencial como mecanismo para «romper» con su dormancia, lo que no solo permitirá aumentar su capacidad como recurso, sino también contribuirá a mejorar los sistemas productivos agropecuarios, de una forma más sustentable.

Con base en ello se planteó el objetivo de evaluar la eficacia del agua caliente como tratamiento pre-emergente, a distintos tiempos de inmersión en comparación con el corte físico a la semilla, y su efecto sobre el porcentaje de germinación en semillas y la presentación de las dos primeras hojas verdaderas en *Cajanus Cajan, Centrosema Plumieri, Phaseolus Vulgaris L.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica y clima. Las pruebas de germinación se realizaron dentro del laboratorio de biodiversidad de TecNM/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., México, el cual se localiza en las coordenadas 19° 24’42’N y 96 °21’32’’ O, del meridiano de Greenwich. Se encuentra en un clima AW_2 de acuerdo con Köppen, modificado por García (2004), con lluvias en verano y una precipitación media anual de 1100 mm, y a una altura sobre el nivel del mar de 20 m, localizado en la Llanura Costera del Golfo Sur.

Material biológico. Se evaluó la escarificación y germinación de las semillas de tres especies de leguminosas: *Cajanus cajan*, *Centrosema Plumieri* (Turpin ex Pers.) Benth., y *Phaseolus vulgaris L*. (conocido como frijol silvestre, que es la forma silvestre del frijol común domesticado) (Figura 1).



Figura 1. Escarificación de semillas de *Cajanus cajan, Centrosema plumieri y Phaseolus vulgaris silvestre.* Laboratorio de Biodiversidad del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. (Fuente: propiedad de los autores).

Clasificación botánica de las especies:

Cajanus cajan. Reino: *Plantae*, Familia: *Fabaceae*, Subfamilia: *Faboideae*, Tribu: *Phaseoleae*, Gènero: *Cajanus*, Especie: *Cajanus cajan* (Gonzalez, 2020). El gandul es un arbusto perenne de hasta 4 m de alto, con estatus exótica en Mexico; se ha observado en Baja California Sur, Campeche, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, Sonora y Veracruz (Hanan Alipi & Mondragón Pichardo, 2009).

Centrosema plumieri. Reino*: Plantae,* Division: *Magnoliphyta,* Clase: *Magnolipsida,* Subclase: *Rosidae,* Orden: *Fabales*, Familia: *Facaceae,* Subfamilia: *Faboideae*, Tribu: *Phaseoleae,* Subtribu*: Clitoriinae,* Genero: *Centrosema*, Especie: *Centrosema plumeiri* (Gonzalez, 2019). Habito y forma de vida: La especie C. plumieri es una enredadera robusta y trepadora.

Phaseolus vulgaris L. Reino: *Plantae*; Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares); Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas); División: *Magnoliophyta* (plantas con flor); Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas); Subclase: *Rosidae*; Orden: *Fabales.* Hábitat y distribución sobre todo propia de la selva baja caducifolia, pero también de algunas formas de bosques de pino-encino. (CONABIO, 2009). El fríjol silvestre (que es la forma silvestre del fríjol común domesticado) es una enredadera común en lugares perturbados como los matorrales en las orillas de carreteras, orillas de bosques o de parcelas. (Figura 2).



Figura 2. De izquierda a derecha: *Cajanus cajan, Centrosema plumieri y Phaseolus silvestre* (Fuente: propiedad de los autores).

Implementos y equipo. Se utilizaron cajas Petri de plástico con medidas de (6cm x 1.5cm) con peso de tres gramos por pieza, con un total de 27 cajas utilizadas para el estudio. El sustrato se integró de tierra negra comercial, compuesta de 20.33 % de materia orgánica. Para humedecerlo se empleó una jeringa de plástico de diez mililitros, agregándose 26 g de sustrato en cada caja Petri (29g en total) y ocho ml de agua de grifo en total, evitándose con ello la saturación. Posteriormente se aplicaron cinco ml de agua por día durante todo el periodo (0.818 L de agua en total).

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó: 1) Medidor de temperatura. Termómetro digital marca Digital Thermometer; 2) Cronómetro digital, disponible en un iPhone 11 versión i0S 26.3.1; 3) Contenedores. Se empleó un recipiente metálico con capacidad de 1L y coladores de plástico; 4) Calentador de agua. Parrilla eléctrica marca Volteck PAEL-1C; 5) Herramienta de corte. «Corta uñas» con dimensiones de 1.1 cm de ancho con 5.4 cm de largo marca Try; 6) Báscula digital marca Truper 5 kg/1g; 7) Sustrato comercial de tierra negra marca ©Garden´s.

Tipo de estudio. Descriptivo-exploratorio, de corte cuantitativo, empírico-analítico.

Manejo de los tratamientos de prueba. Las vainas fueron recolectadas manualmente dentro del área del Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Se seleccionaron 90 semillas por especie (Figura 3). Estas fueron sometidas a nueve métodos de escarificación (niveles) (Cuadro 1). Tres de ellos consistieron en «muesqueo» de la semilla, con inmersiones en agua a temperatura ambiente con diferentes tiempos (2, 4, y 6 min). En el resto de los tratamientos se incluyó el uso de agua caliente a dos diferentes temperaturas (60º y 80ºC), respetando los mismos tiempos de inmersión en agua (2, 4 y 6 min) por cada uno de ellos (Cuadro 1).



Figura 3. De izquierda a de derecha semillas utilizadas de: *Centrosema plumieri Cajanus cajan, y Phaseolus vulgari* (Fuente: propiedad de los autores).

Cuadro 1. Diseño de tratamientos en semillas de tres especies de leguminosas expuestas a diversos manejos pregerminativos.

Phaseolus vulgaris (silvestre)		*Cajanus cajan*		*Centrosema plumieri*	
Numero	Tratamientos	Numero	Tratamientos	Número	Tratamientos
I	2 T.A (muesca)	I	2 T.A (muesca)	I	2 T.A (muesca)
II	4 T.A (muesca)	II	4 T.A (muesca)	II	4 T.A (muesca)
III	6 T.A (muesca)	III	6 T.A (muesca)	III	6 T.A (muesca)
IV	2 (60°C)	IV	2 (60°C)	IV	2 (60°C)
V	4 (60°C)	V	4 (60°C)	V	4 (60°C)
VI	6 (60°C)	VI	6 (60°C)	VI	6 (60°C)
VII	2 (80°C)	VII	2 (80°C)	VII	2 (80°C)
VIII	4 (80°C)	VIII	4 (80°C)	VIII	4 (80°C)
IX	6 (80°C)	IX	6 (80°C)	IX	6 (80°C)

Determinación de germinación de las semillas. Las variables medidas fueron: 1) Agua caliente a 60° C y 80° C. Se utilizó una parrilla eléctrica marca Volteck PAEL-1C para calentar el agua y se estimó su temperatura mediante un termómetro digital marca DigitalThermometer de -50°C -+ 300°C; 2) Tiempos de inmersión en agua de 2,4 y 6min. Se verifico a partir de un cronómetro digital disponible en un iPhone 11 versión i0S 26.3.1; 3) Muesca en semilla. Se empleó un «corta uñas» genérico marca Try con dimensiones de 1.1 cm de ancho con 5.4 cm de largo, realizándose un corte de un mm en la testa de la semilla; 4) Días de la siembra a la germinación (50+1, cuando 6 de las 10 germinaron); 5) Porcentaje de germinación a los 7 días posteriores a la siembra (conteo del total germinado); 6) Días de la siembra a la aparición de la primera hoja verdadera (50%+1, cuando en 6 de las 10 se observaron); 7) Días de la siembra a la aparición de la 2da. hoja verdadera (50%+1, cuando en 6 de las 10 se observaron).

Análisis estadístico. El análisis se realizó con el programa Microsoft® Excel® LTSC MSO (versión 2408 compilación 16.0.17928.20004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cajanus cajan. El mejor tratamiento de escarificación en relación al % de germinación (Figura 4), se observó en la combinación de dos minutos de inmersión a 80^0C a los 7 días posteriores a la siembra, donde se obtuvo la mejor respuesta biológica. El porcentaje de germinación más alto en total, considerando las 90 semillas se mostró en la especie *Cajanus Cajan*, con un 72%, a diferencia de lo reportado por Pietrosemoli, (1977) quien "para las semillas tratadas con agua en ebullición durante 30 seg, se registraron valores de germinación del 66 %" (p.2). Los resultados obtenidos se pueden atribuir al tamaño y peso de dicha semilla, ya que como lo reporta Mendoza-Pedroza et al., (2023) "las semillas de tamaño grande tienen más vigor y podrían establecerse más rápido que las plántulas obtenidas de granos pequeños" (p.4).

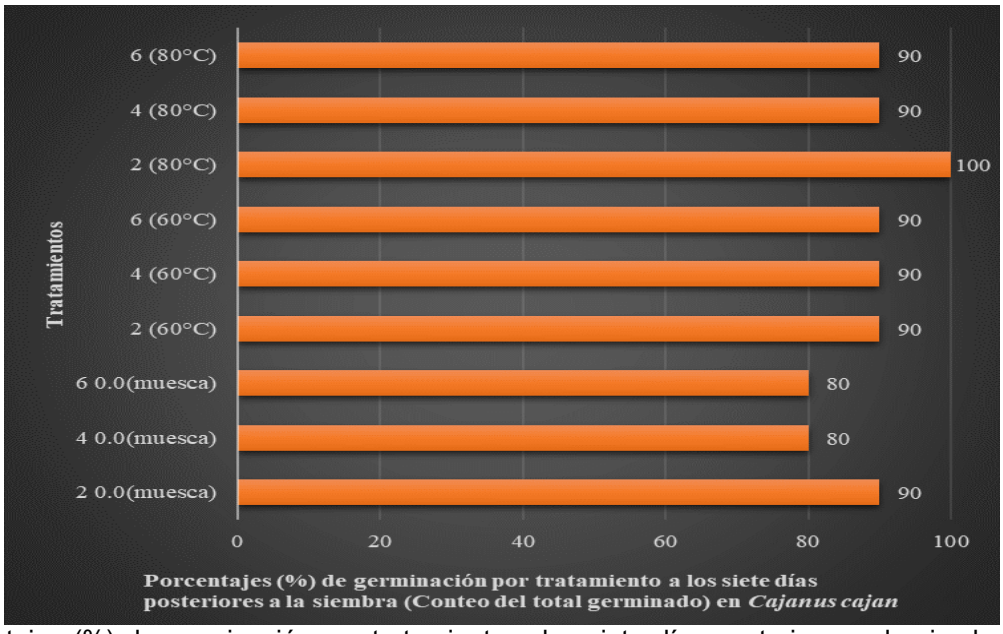


Figura 4. Porcentajes (%) de germinación por tratamiento a los siete días posteriores a la siembra (Conteo del total germinado) en *Cajanus cajan*. (Fuente: propiedad de los autores).

Al respecto la Figura 5 muestra los resultados obtenidos mediante la técnica de corte (muesca) y el efecto del agua caliente, observándose mayor eficacia respecto a la aparición de la primera hoja verdadera cuando se combinó con tiempos de seis minutos a temperatura ambiente (muesca) y cuatro minutos a 80°C a los 4 días pos-siembra. Con relación a los días de la siembra hasta la aparición de la segunda hoja verdadera (siete días: 50%+1 del total de semillas) los tratamientos mostraron una respuesta uniforme (Figura 5).

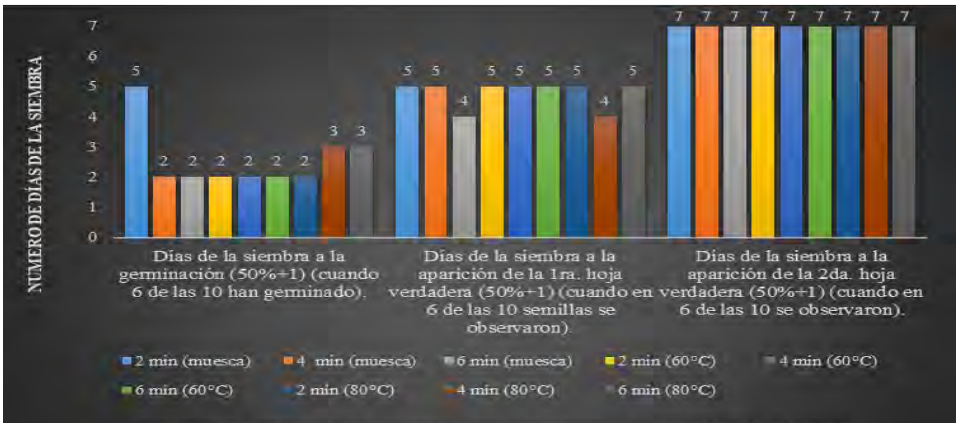


Figura 5. Respuesta biológica a los días posteriores a la germinación por tratamiento en *Cajanus cajan*. (Fuente: propiedad de los autores).

Centrosema plumeiri. En la Figura 6 se muestra que, en las combinaciones de dos, cuatro y seis minutos de inmersión en agua a temperatura ambiente con muesca en semilla a los 7 días posteriores a la siembra, obtuvo el 100% de efectividad. Estos resultados difieren a lo observado en los tratamientos con agua caliente. En estudios reportados para *Centrosema rotundifolium* se confirmó que en general "la inmersión de las semillas en agua hirviendo no ofreció ventaja en relación al tratamiento testigo" (Sanabria et al., 2004, p.5).

Adicionalmente se aprecia que el porcentaje de germinación mas bajo en total de las 90 semillas se mostró en la especie *Centrosema Plumeiri* con 35.1%, atribuible al endurecimiento y dormancia presentada por dichas semillas. Aunado a ello se debe considerar que "para una misma especie, este período puede variar en función del genotipo, del ambiente donde la semilla fue producida y de otros factores" (Mérola y Díaz, 2012, p.14)

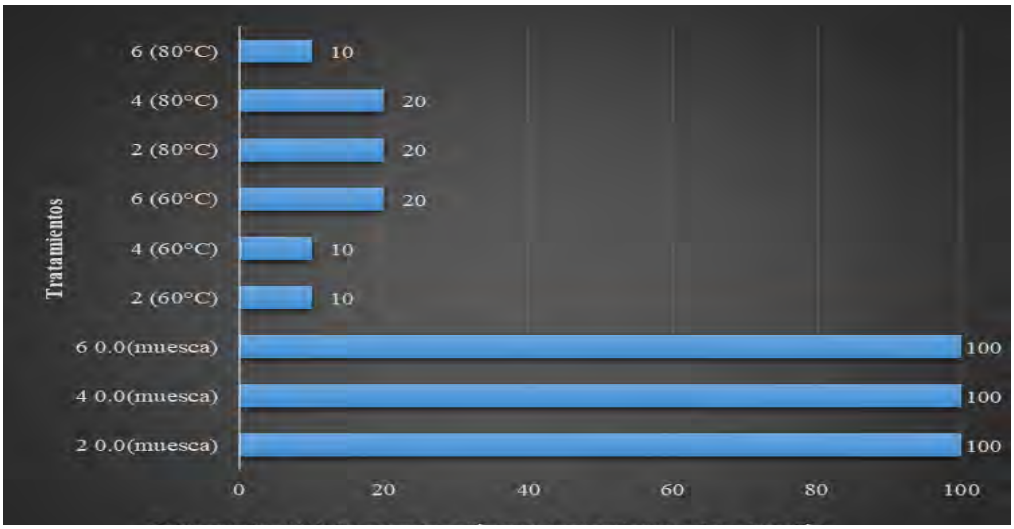


Figura 6. Porcentajes (%) de germinación por tratamiento a los siete días posteriores a la siembra (Conteo del total germinado) en *Centrosema plumieri.* (Fuente: propiedad de los autores).

La Figura 7 muestra que la técnica de corte (muesca) para esta especie mostró mayor eficacia combinada con inmersión en agua a temperatura ambiente e inmersiones de 2, 4 y 6 minutos, a los cinco días respecto a la aparición de la primera hoja verdadera (cuando: 50%+1 del total de semillas). Encontrándose una respuesta homogénea respecto a días de la siembra a la aparición de la segunda hoja verdadera a los 7 días pos-siembra.

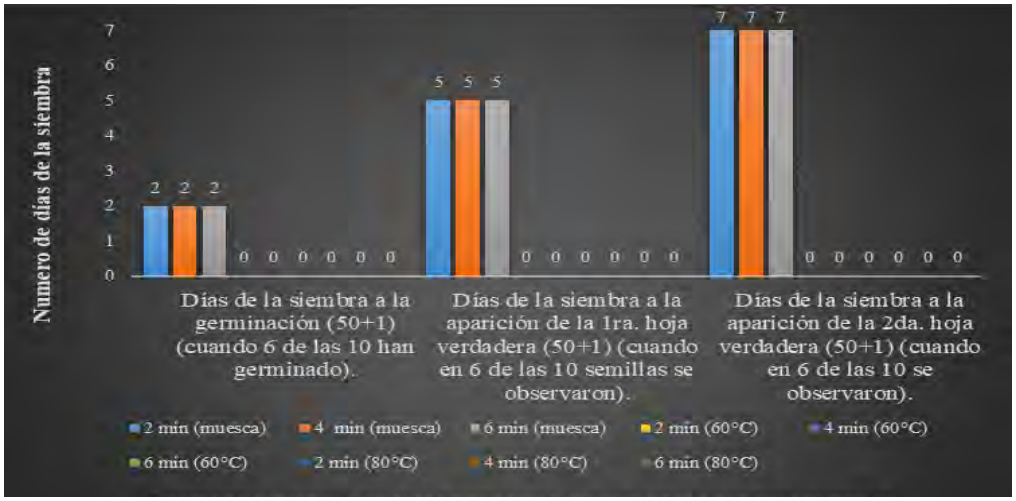


Figura 7. Respuesta biológica a los días posteriores a la germinación por tratamiento en *Centrosema plumieri.* (Fuente: propiedad de los autores).

Phaseolus vulgaris. El mejor tratamiento de escarificación en relación al % de germinación se muestra en la Figura 8, la cual consistió en la combinación de muesca más cuatro minutos de inmersión en agua a temperatura ambiente (7 días posteriores a la siembra), revelando una respuesta semejante respecto a días de la siembra a la aparición de la primera hoja verdadera (cuatro días: 50+1 del total de semillas). Estos hallazgos coinciden con lo reportado por López et al., (2001) quien indica que el empleo de la escarificación mecánica, siempre que no dañe al embrión, rompe la latencia en las semillas de frijol silvestre.

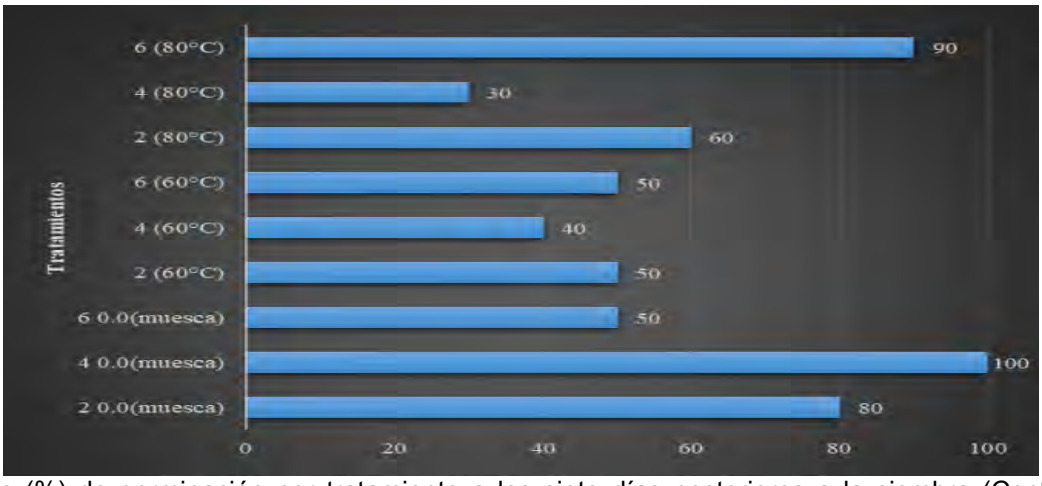


Figura 8. Porcentajes (%) de germinación por tratamiento a los siete días posteriores a la siembra (Conteo del total germinado) en *Phaseolus silvestre*. (Fuente: propiedad de los autores).

En la Figura 9 se aprecia que la técnica con agua caliente mostró mayor eficacia, combinada con inmersión a 6 minutos a 80°C para la aparición de la segunda hoja verdadera (a los 5 días pos-siembra).

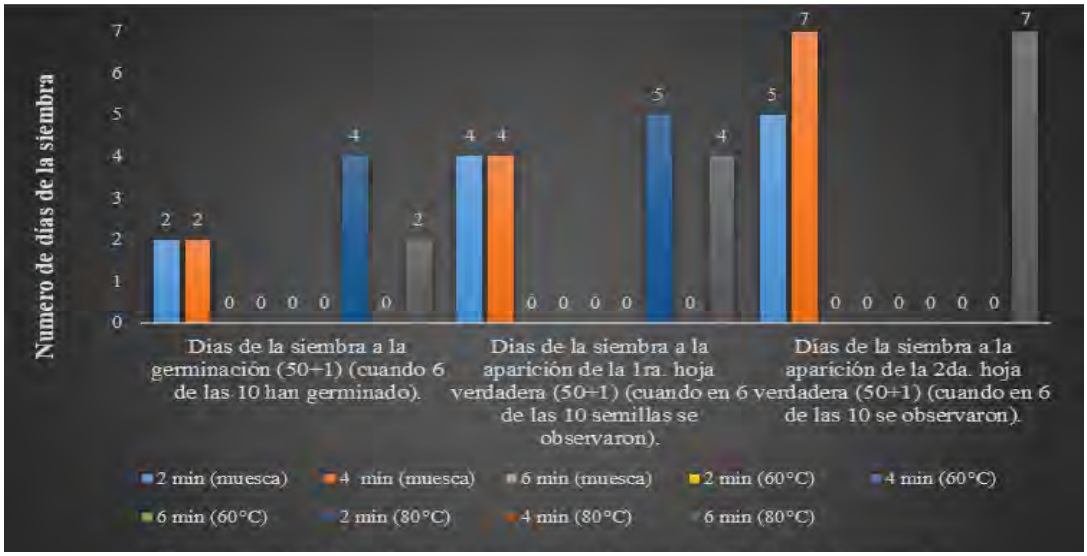


Figura 9. Respuesta biológica a los días posteriores a la germinación por tratamiento en *Phaseolus silvestre***.** (Fuente: propiedad de los autores).

CONCLUSIONES

Las técnicas pre-emergentes empleadas mostraron ser eficaces para elevar el porcentajes de germinación y coadyuvar al desarrollo de la plántula.

Los tratamientos pre-emergentes mediante muescas resultaron ser los mejores, así como las imersiones en distintos tiempos en agua caliente.

Se comprobó la viabilidad presente en las semillas de leguminosas evaluadas, pudiendo ser colectadas directamente en los sitios de estancia.

De esta forma el rescata y propagación de las leguminosas en estudio es factible como estrategia para su integración en sistemas de producción agroecológica.

REFERENCIAS

Berretta, A., & Rivas, M. (2001*). Conservación in situ de los recursos fitogenéticos*. En: Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Ed., Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur, Montevideo. http://repiica.iica.int/DOCS/B0630E/B0630E.PDF

Bianco, L. &. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. Idesia (Arica), 36(4), 71-80. 3. Obtenido de https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601

Blanco-Yaisys, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28.https://www.redalyc.org/pdf/1932/193217731003.pdf

CONABIO. (2009). *Phaseolus vulgaris L. Frijol silvestre*. Ficha Ténica. Malezas de México. http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/phaseolus-vulgaris/fichas/ficha.htm

Copeland, L. O. y McDonald, M. B. (2001). *Principles of Seed Science and Technology*. Springer.

Espitia, M., Cardona, C., y Araméndiz, H. (2016). Pruebas de germinación de semillas de forestales nativos de Córdoba, Colombia, en laboratorio y casa-malla. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 307–315. https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.84

García, E (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372

Gonzalez, K.D. (2019). *Ficha Técnica de Gallito* (*Centrosema plumieri*). Ficha Ténica. información pastos y forrajes. Obtenido de https://infopastosyforrajes.com/leguminosas/ficha-tecnica-de-gallito-centrosema-plumieri

Hanan-Alipi, M. y Mondragón-Pichardo, J. (2009). Malezas de México, Ficha *Cajanus cajan.* http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/cajanuscajan/fichas/ficha.htm

Humaña AM, C. (2024). La escarificación mecánica aumenta la germinación de semillas de *Neltuma alba* (*Fabaceae*), un árbol amenazado del Desierto de Atacama. *Revista Peruana de Biología* 31(2), 1-8. http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v31n2/1727-9933-rpb-31-02-e26571.pdf

López-Herrera, M., Aguirre-Rivera, J.R. , Trejo, C. y Peña-Valdivia, C.B. (2001). Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. *S. Afr. J. Bot* . 67, 620-628. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915311923?via%3Dihub

Mendoza-Pedroza, S. I., Méndez-Gaona, E., Pérez-Cruz, K. U., Hernández-Livera, A., Escalante-Estrada, J. A. S. y Domínguez-Martínez, P. A. (2023). Tamaño de semilla y su efecto sobre el crecimiento. *Rev. Fitotec. Mex*. 46(4)-497-504. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1544/1476

Mérola, R. y Díaz, S. (2012). *Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras*. Tesis de post-grado. Facultad de Ciencias Agrarías. Universidad de la Empresa. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12563/1/Pasantia-Post-grado-Merola-Saulo-Diaz-2012.pdf

Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Rojas-Hernández, S. y Castelán-Ortega, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del estado de México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2). 739-748. https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7208/1/ULEAM-AGRO-0355.pdf

Pietrosemoli, S. (1977). Efecto del almacenamiento y la escarificación sobre lagerminación de la semilla de Quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) MILLSP. *Arch*. *Latinoam. Prod. Anim*. 5 (Supl. 1), 25-27.

Portillo-López, P. A., Meneses-Buitrago, D. H., Morales-Montero, S. P., Cadena-Guerrero, M. y Castro-Rincón, E. (2019). Evaluación y selección de especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño, Colombia. *Pastos y forrajes*, 42(2), 93-103. https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7208/1/ULEAM-AGRO-0355.pdf

Ruiz de Galarreta, J. I., Prohens, J. y Tierno, R. (2016). Las variedades locales en la mejora genética de plantas. Vitoria-Gasteiz.

Sanabria, D. S. A. (2004). Germinación de semillas de las leguminosas arbustivas forrajeras *Cratylia argentea* y *Cassia moschata* sometidas a inmersión en ácido sulfúrico. *Bioagro*, 16(3), 225-230. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612004000300010&lng=es&tlng=es.

Toledo-González, K. A., Levy-Tacher, S. I., Macario-Mendoza, P. A., & Nova-Vázquez, J. A. (2019). Germination of two varieties of *Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb. from the Lacandon Jungle, Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 85-94. doi: 10.5154/r.rchscfa.2018.06.046

Villarreal, M. (1994). Valor nutritivo de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. *Pasturas Tropicales*, 16(1), 27-31. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/pasturas_tropicales/DOCUMENTS/1994-vol16-rev1-2-3/Vol16_rev1_a%C3%B1o94_art6.pdf

Villarruel-Fuentes, M., Garay-Peralta, I. y Chávez-Morales, R. (2025). Caracterización fenológica y morfométrica de un rodal semillero de *Cajanus cajan* en un clima AW_2. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 16(2), e-1227. DOI: htpps://doi. org/10.22579/22484817.1227

INNOVACIÓN EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS EN EMPRESAS MUEBLERAS MEDIANTE SIX SIGMA

Maricela Guerra Franco[1]
Anapaula Rivas Barraza[2]
Diana Citlaly Pantoja López[3]

RESUMEN

En Durango, la industria mueblera representa una actividad importante por el acceso a recursos forestales en el estado. Sin embargo, la mayoría de las empresas del sector enfrentan limitaciones que afectan su competitividad. Esto se ve reflejado en la falta de estandarización de procesos, la variabilidad en los tiempos de producción y la presencia de actividades sin valor agregado.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es aplicar y documentar herramientas de Lean Six Sigma en seis empresas muebleras de la ciudad de Durango para, a partir de cada caso, identificar las problemáticas principales, estudiar sus causas y proponer mejoras considerando las condiciones reales de las MiPyMES participantes. La investigación se aborda desde un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con alcance descriptivo y diseño no experimental de casos de estudio múltiples.

El trabajo se organizó bajo el ciclo DMAIC, integrando herramientas como 5S, estudios de tiempos y movimientos, diagramas de Pareto e Ishikawa, gestión visual y Poka-Yoke. Los resultados sugieren que esta metodología puede implementarse en empresas muebleras duranguenses, siempre que las herramientas se adapten de forma gradual a los recursos, necesidades y ritmo de trabajo de cada empresa.

Palabras clave: Sector mueblero, análisis de procesos, Lean Six Sigma, eficiencia operativa.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la eficiencia en los procesos productivos se ha convertido en un factor determinante para la competitividad de las empresas. La capacidad de producir con menor variabilidad, reducir los tiempos sin valor agregado y optimizar el uso de los recursos impacta directamente en los costos, así como también en la calidad y consistencia del producto final. Es por ello que los sectores industriales con alta participación de procesos manuales enfrentan mayores retos para lograr la estandarización y el control de sus operaciones.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. maricela.guerra@itdurango.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. arivas@itdurango.edu.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 19041158@itdurango.edu.mx

Con base en un diagnóstico realizado a empresas del sector mueblero pertenecientes a la Asociación de Fabricantes Muebleros de Durango (AFAMDGO), se observa que la industria mueblera representa un claro ejemplo de esta situación, ya que gran parte de sus procesos se desarrollan a partir de prácticas operativas basadas en la experiencia y con una limitada formalización de sus procedimientos. Esta condición favorece la presencia de variaciones en los tiempos de producción, desorganización en las áreas de trabajo y dificultades para identificar de manera precisa las causas de las ineficiencias. Como resultado, las empresas presentan diversas problemáticas asociadas a la variabilidad en los procesos de producción, falta de control en las operaciones y retrabajos costosos. Estas circunstancias inhiben la competitividad ante un entorno cada vez más exigente.

Ante esta situación, se presenta la necesidad de implementar metodologías de mejora continua que permitan abordar las operaciones desde una perspectiva basada en datos, facilitando la identificación de problemas, el análisis de causas y la implementación de acciones de mejora. A través de herramientas específicas, es posible evidenciar las áreas de oportunidad en los procesos productivos que tiene el sector y proponer ajustes que contribuyan a una mayor eficiencia. Además, la aplicación de herramientas como 5S y los estudios de tiempos y movimientos facilitan la organización del entorno, mejoran la secuencia de las operaciones y analizan con mayor precisión la duración de las tareas, generando información clave para la optimización de los procesos.

A partir de lo anterior, este estudio tiene como objetivo optimizar procesos productivos en empresas muebleras mediante la aplicación de herramientas de Lean Six Sigma, con la finalidad de incrementar la eficiencia operativa.

De acuerdo con este objetivo, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿De qué manera la aplicación de herramientas como 5S y estudios de tiempos y movimientos influye en la organización de los procesos productivos en empresas muebleras?
- ¿Qué efectos se observan en la eficiencia operativa a partir de la implementación de estas herramientas?

Asimismo, se propone como hipótesis que la aplicación de herramientas de Six Sigma, particularmente 5S y estudios de tiempos y movimientos, se asocia con mejoras en la eficiencia operativa de los procesos productivos en empresas muebleras, al favorecer una mayor organización y control de las actividades productivas.

ESTADO DEL ARTE

Desde un enfoque estructural, la industria mueblera comprende un conjunto de actividades que inician desde el diseño, la transformación de materias primas, el ensamblaje y finalmente la comercialización

de productos enfocados a diversos segmentos de la población, para cubrir necesidades en el hogar, oficinas y otros fines industriales. En este sector, predominan esquemas productivos de carácter híbrido, donde se pueden observar procesos artesanales y técnicas semi-industrializadas, lo cual genera una alta heterogeneidad en los niveles de productividad, eficiencia y calidad entre las empresas (Vargas Crisóstomo & Camero Jiménez, 2021).

En las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMES) del sector mueblero, los procesos productivos pueden definirse como un conjunto estructurado de actividades técnicas y organizacionales orientadas a la transformación de materias primas, principalmente madera y sus derivados, en productos terminados con valor funcional y estético. Estos procesos comprenden operaciones como el corte, el ensamblaje, el acabado y el control de calidad, las cuales se organizan de manera secuencial con el objetivo de garantizar la eficiencia operativa, la calidad del producto y el cumplimiento de las especificaciones establecidas (Groover, 2016).

En general, la cadena productiva de la industria del mueble comprende varias etapas. En primer lugar, el **abastecimiento y preparación de materiales**, que incluye la selección, el corte y dimensionado de madera o tableros. Posteriormente, se desarrollan procesos de **maquinado**, tales como cepillado, fresado, perforado y corte, donde se da forma a los componentes del mueble, de acuerdo con el diseño. En una siguiente fase, se realiza el **ensamble**, la unión de piezas mediante técnicas como encolado, atornillado o ensambles mecánicos. Por último, se llevan a cabo los procesos de **acabado**, como lijado, barnizado, lacado o tapizado, los cuales definen la calidad estética y funcional del producto (Niebel & Freivalds, 2014).

Con un enfoque de ingeniería industrial, la eficiencia operativa implica el análisis de la transformación de los insumos en productos terminados, evaluando si las operaciones se realizan con el menor consumo posible de recursos. Niebel y Freivalds (2014) sostienen que el estudio de métodos, tiempos y estándares permite mejorar la eficiencia al identificar movimientos innecesarios, demoras, cuellos de botella y operaciones repetitivas que afectan el desempeño del sistema productivo. En este sentido, la eficiencia no se limita a producir más, sino a producir de una mejor manera, con procesos estandarizados, controlados y orientados a la mejora continua.

La **eficiencia operativa** se refiere a la capacidad de una organización para utilizar de manera óptima los recursos materiales, humanos, tecnológicos, financieros y de tiempo, con el propósito de generar bienes o servicios con el nivel menor posible de desperdicios, costos y variabilidad de operaciones y productos, sin comprometer la calidad ni la satisfacción del cliente. En el ámbito de manufactura, este concepto se relaciona directamente con la productividad, la calidad, el control de procesos, la reducción de tiempos muertos y la eliminación de actividades que no agregan valor. IBM (2024) define

la eficiencia operativa como la optimización de procesos y recursos para reducir los costos manteniendo o mejorando la productividad.

En las empresas de manufactura, este concepto se pone de manifiesto mediante indicadores como el tiempo de ciclo, la productividad por trabajador, porcentaje de retrabajo, utilización de maquinaria, cumplimiento de entregas, nivel de desperdicio y costo por unidad producida. Slack et al. (2022) señalan que las operaciones eficientes permiten mejorar el desempeño competitivo porque reducen costos, aumentan la confiabilidad del proceso y fortalecen la capacidad de respuesta ante las necesidades del mercado.

En las MiPyMES manufactureras, la eficiencia operativa adquiere una importancia estratégica, debido a que estas empresas suelen operar con recursos limitados, procesos poco estandarizados y una alta dependencia de conocimientos empíricos por parte de los trabajadores.

En estas empresas, la eficiencia operativa se relaciona con la adecuada coordinación de operaciones de corte, maquinado, lijado, ensamble, pintado, embalaje y el control de calidad. Cuando estos procesos no se encuentran estandarizados, se generan tiempos muertos, acumulación de materiales, reprocesos y variabilidad en la calidad del producto. De esta manera, la eficiencia operativa se debe analizar como un factor clave para fortalecer la competitividad de este sector, particularmente en un contexto regional, donde predominan micro, pequeñas y medianas empresas con procesos semi-artesanales.

Lean Six Sigma es un enfoque de gestión que integra los principios de Lean Manufacturing, orientados hacia la eliminación de desperdicios, con la metodología Six Sigma, enfocada en la reducción de la variabilidad y el control estadístico de los procesos. Esta integración permite mejorar de manera simultánea la eficiencia operativa y la calidad en los sistemas productivos, consolidándose como una de las metodologías más utilizadas en la mejora continua de organizaciones manufactureras y de servicios (Antony, 2014).

Lean Six Sigma contribuye en la búsqueda de la optimización del desempeño de las organizaciones, a través de la eliminación de las actividades que no generan valor, conocidas como *muda* y la reducción de los defectos en los procesos. Mientras la metodología Lean está enfocada en el flujo y la velocidad, Six Sigma se centra en la precisión y la calidad, por lo que su combinación permite lograr procesos más eficientes y estables (Snee, 2010).

La metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) representa uno de los enfoques más utilizados en la mejora continua de procesos dentro del marco de Lean Six Sigma, gracias a su carácter estructurado y orientado al análisis de los datos (Pyzdek & Keller, 2018). En el contexto general de las MiPyMES, esta metodología adquiere especial relevancia, ya que permite identificar

ineficiencias, optimizar la utilización de los recursos y reducir desperdicios en procesos productivos con limitaciones operativas (Carrillo-Landazábal et al., 2022). De esta manera, el enfoque DMAIC facilita la implementación de proyectos de mejora mediante el uso de herramientas estadísticas que contribuyen a la reducción de la variabilidad y la mejora del desempeño organizacional (Snee, 2010). En este sentido, diversos estudios han demostrado que su aplicación en procesos manufactureros permite reducir tiempos de ciclo, eliminar actividades sin valor agregado y mejorar la productividad, consolidándose como una herramienta clave para la optimización de procesos en MiPyMES (Sony et al., 2022).

Las métricas de Manufactura Esbelta proporcionan elementos para analizar el progreso de un plan de mejora continua y ofrecen información sobre cada situación o problema. Entre los indicadores de Manufactura Esbelta se encuentran: utilización óptima del espacio, tiempos de entrega, tiempos de ciclo (Tejeda, 2011).

5S es una herramienta de Lean Manufacturing que trata de establecer y estandarizar rutinas de orden y limpieza en los puestos de trabajo. Se debe tener en cuenta que las 5S son el primer paso para la aplicación de las demás herramientas. Mediante esta técnica se mejora tanto el espacio de trabajo como la eficiencia y eficacia en las operaciones a realizar (Manzano Ramírez & Gisbert Soler, 2016).

Hernández-Crisostomo et al. (2023) señalan que la metodología 5S se fundamenta en los cinco conceptos japoneses: Seiri (clasificación), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (estandarización) y Shitsuke (disciplina). Esta herramienta se orienta a la mejora de las condiciones laborales, mediante la organización sistemática del entorno de trabajo y la estandarización de las actividades de las empresas. Además, la literatura destaca que la implementación de 5S permite incrementar la eficiencia operativa, reducir desperdicios y mejorar el control de procesos (Vargas Crisóstomo & Camero Jiménez, 2021).

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con datos medibles relacionados con la eficiencia, el orden, el control de actividades y la reducción de desperdicios en empresas muebleras de la ciudad de Durango. Este enfoque permitió comparar condiciones antes y después de aplicar herramientas Lean Six Sigma. De acuerdo con Rojas (2011), la investigación cuantitativa se apoya en la medición y el cálculo para analizar variables expresadas en magnitudes.

El tipo de investigación fue aplicada, debido a que partió de problemáticas reales identificadas en el sector mueblero y buscó atenderlas mediante herramientas de mejora continua. El estudio se abordó como caso de estudio múltiple, ya que se analizaron empresas muebleras seleccionadas del contexto

local, cada una con condiciones particulares de operación, organización y necesidades de mejora. Yin (2018) señala que el estudio de caso es pertinente cuando se busca comprender un fenómeno dentro de su contexto real.

El estudio tuvo un alcance descriptivo, porque se orientó a caracterizar los procesos intervenidos y las condiciones iniciales de trabajo en las empresas participantes. Hernández-Sampieri y Mendoza (2023) señalan que los estudios descriptivos buscan especificar las características de procesos, grupos, organizaciones u otros fenómenos de análisis.

El diseño fue no experimental, ya que no se manipularon variables bajo condiciones controladas. Las empresas fueron estudiadas sin modificar su ambiente, respetando sus procesos, recursos y dinámica interna. En este tipo de diseño, las variables se observan tal como ocurren para posteriormente analizarlas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023).

La población estuvo conformada por empresas del sector mueblero de la ciudad de Durango. Como antecedente, se consideró el diagnóstico estratégico aplicado a empresas afiliadas a la Asociación de Fabricantes de Muebles de Durango (Guerra Franco et al., 2025), donde se evaluaron quince empresas mediante un instrumento multidimensional validado por especialistas de la Maestría en Ingeniería Administrativa de UPIDET del Instituto Tecnológico de Durango. La muestra del presente estudio fue no probabilística por conveniencia, integrada por empresas que aceptaron participar en la fase de intervención.

Los instrumentos de recolección y análisis fueron hojas de verificación, caminatas gemba, diagramas de flujo, diagramas de Pareto, diagramas de Ishikawa e histogramas. Estas herramientas permitieron registrar datos, visualizar procesos, priorizar problemas, identificar causas raíz y analizar el comportamiento de la información obtenida.

La selección de variables se realizó tomando como referencia la eficiencia del proceso, analizándola desde la dimensión productiva y la organizacional. En la parte productiva se revisaron elementos como tiempos de operación, desperdicio de materia prima, orden del área, secuencia del proceso y control de actividades. En la parte organizacional se consideraron registros internos, responsabilidades, seguimiento, control visual, seguridad, mercadotecnia y gestión del producto terminado.

El trabajo se organizó siguiendo las diferentes etapas del ciclo DMAIC. En la etapa de definición se eligieron los procesos con mayor oportunidad de mejora. Después se recopiló información inicial y, con apoyo de herramientas como Pareto e Ishikawa, se analizaron las posibles causas de los problemas detectados. A partir de ello se propusieron o aplicaron acciones de ordenamiento, estandarización y control. Finalmente, se trazaron mecanismos de seguimiento para que las mejoras pudieran mantenerse después de la intervención.

De esta manera, la metodología permitió pasar del diagnóstico previo a la intervención aplicada en casos específicos, con el propósito de documentar cómo las herramientas Lean Six Sigma contribuyeron a mejorar el orden, la eficiencia y la organización de procesos en empresas muebleras de Durango.

RESULTADOS

Con el fin de preservar la confidencialidad de las empresas, los nombres fueron omitidos y sustituidos por identificadores del Caso A al Caso F. Todas pertenecen al sector mueblero de Durango y comparten características similares en cuanto a tamaño y capacidad productiva.

Como antecedente, las empresas intervenidas participaron anteriormente en un estudio diagnóstico, en el cual se identificaron problemáticas comunes relacionadas con baja estandarización de procesos, desorden operativo, ausencia de indicadores, tiempos muertos y deficiencias en el mantenimiento. A partir de estas condiciones, se realizó la aplicación de herramientas de Lean Six Sigma en una muestra de seis empresas integrada bajo los criterios de disposición al cambio y participación voluntaria. Los resultados sintetizados se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1 *Caracterización de los casos de estudio e intervención aplicada*

Caso	Problemática	Herramientas	Resultados
A	Tiempos de ciclo elevados y falta de integración con CNC	Estudio de tiempos, DMAIC y VSM	Reducción entre el 20 y 35 % de los tiempos de ciclo. Mejora de actividades con valor agregado de un 52 % a 71 %
B	Desorden operativo, bajo control de materiales, cuellos de botella y mantenimiento deficiente	5S, gestión visual, Kaizen y mantenimiento	Cumplimiento 5S y reducción de tiempos de búsqueda de 15 a 6 minutos por trabajador
C	Pedidos con retraso de entrega, errores frecuentes por medición manual	Estudios de tiempos MTM-1, Poka-Yoke, guías visuales y DMAIC	Reducción de 50.2 % en corte crítico; reducción de 66.2 % en armado
D	Deficiencias en comunicación interna y falta de mantenimiento	Gemba, estudio de tiempos, mantenimiento preventivo y KPI	Formatos para control del personal, programación de mantenimiento preventivo y KPIs
E	Riesgos laborales, falta de estandarización y layout ineficiente	Manuales de seguridad e higiene, reorganización de layout y control de inventarios	Propuestas documentadas con formatos definidos para las diferentes problemáticas, no se implementaron por limitaciones internas.
F	Desorden en almacenes y áreas de trabajo, alta rotación de personal y falta de controles de calidad	DMAIC, 5S, tableros de desempeño y listas de verificación	Cumplimiento de las 5S de 37 % a 86 %, herramientas etiquetadas y aprovechamiento eficiente del espacio.

Fuente: Elaboración propia.

Cada intervención se desarrolló conforme a las condiciones operativas de cada empresa. Las herramientas implementadas se seleccionaron de acuerdo con el nivel de madurez operativa, los recursos disponibles, la apertura al cambio y las necesidades identificadas en cada caso.

Resultados por herramienta aplicada.

5S y gestión visual

La metodología 5S fue una de las herramientas más utilizadas, debido a que la mayoría de las empresas, por la naturaleza de sus actividades, requerían primero fortalecer el orden, la limpieza y la disciplina.

En el **Caso F**, la implementación de las 5S inició con una capacitación, con el objetivo de familiarizar al personal administrativo y operativo con la metodología y su aplicación en las áreas de trabajo. Después de ocho semanas de intervención, el cumplimiento promedio incrementó de 37 % a 86 %. Los resultados por área se detallan en la Tabla 2. El mayor avance se registró en el área de “yonkes”, donde se alcanzó un cumplimiento del 100 % mediante la eliminación de materiales sobrantes y la liberación de espacio operativo. Esto permitió reorganizar la maquinaria y aprovechar mejor el espacio disponible. Adicionalmente, se asignaron roles de limpieza y un tablero de desempeño con incentivos por productividad y compromiso.

Tabla 2 *Avance del cumplimiento 5S por área en el Caso F*

Área	Cumplimiento inicial	Cumplimiento final	Incremento
Almacén	39 %	83 %	+ 44 pp
Pintura	26 %	86 %	+ 60 pp
Fabricación	34 %	80 %	+ 46 pp
Oficina	49 %	93 %	+ 44 pp
Promedio	37 %	86 %	+ 49 pp

Fuente: Elaboración propia.

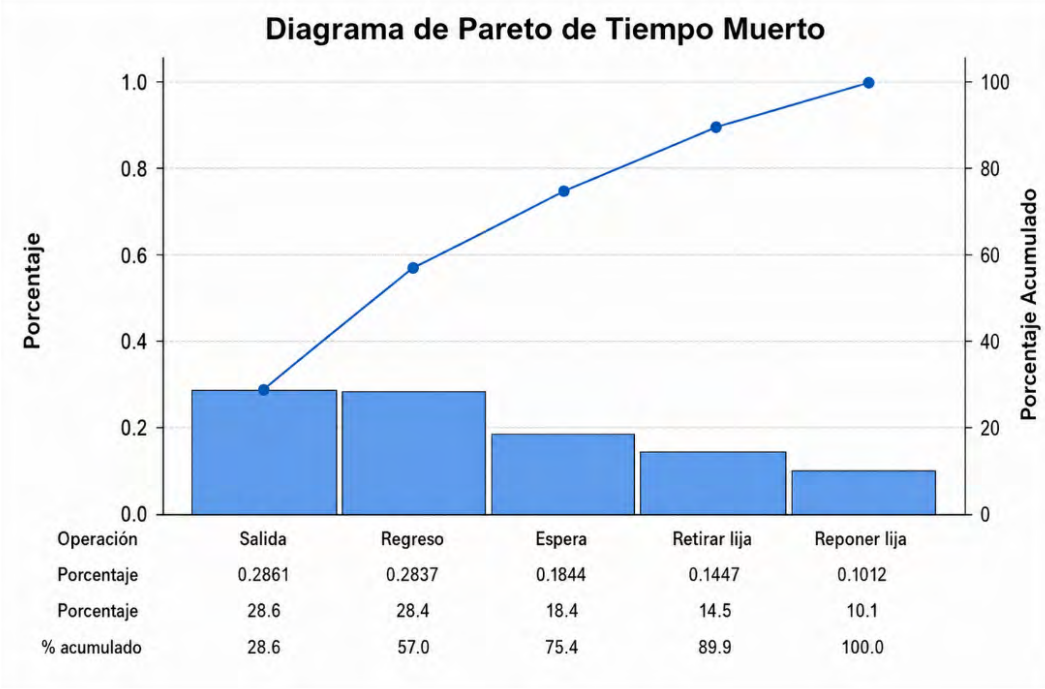
En el **Caso B**, el cumplimiento pasó de 40 % a 85 % y las áreas con mayor avance fueron almacén y herramientas, ambas con un 90 % de cumplimiento final. La organización y el etiquetado en las áreas logró reducir los tiempos de búsqueda de 15 a 6 minutos por trabajador, lo que se traduce en mayor productividad y eficiencia operativa.

Estandarización y estudios de tiempos

En los casos orientados a producción, la medición de tiempos permitió identificar actividades sin valor agregado que se repetían constantemente, movimientos innecesarios y variabilidad causada por no tener los procesos de fabricación estandarizados.

En el **Caso A**, se observó una reducción del tiempo de ciclo entre 20 y 35 % dependiendo de la operación realizada. Las actividades con valor agregado pasaron de 52 % a 71 %, mientras que las actividades sin valor agregado disminuyeron de 48 % a 29 %.

En el **Caso C**, derivado de los estudios de tiempos y movimientos MTM-1, se identificó que el reemplazo de lijas representa una de las actividades que genera la mayor parte del tiempo muerto. Con los tiempos registrados se elaboró un diagrama de Pareto (Figura 1).



Operación	Salida	Regreso	Espera	Retirar lija	Reponer lija
Porcentaje	0.2861	0.2837	0.1844	0.1447	0.1012
Porcentaje	28.6	28.4	18.4	14.5	10.1
% acumulado	28.6	57.0	75.4	89.9	100.0

Figura 2 *Diagrama de Pareto de tiempo muerto*

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que las operaciones de salida, regreso y espera concentran el 75.4 % del tiempo muerto total. Estas tres actividades se relacionan principalmente con desplazamientos que realiza el operador cada vez que debe abandonar su estación de trabajo para solicitar una nueva lija. En contraste, las actividades necesarias para el retiro y reemplazo de la lija gastada representan únicamente el 24.6 % del tiempo total.

En este mismo caso, la implementación de una guía métrica visual tipo Poka-Yoke redujo el tiempo de ciclo en el trocero 2 de 10.547 segundos a 5.244 segundos, lo que equivale a una mejora del 50.2 %. Esta mejora se debió principalmente a que el operador dejó de realizar mediciones manuales repetitivas y pudo trabajar con un punto de referencia más claro.

En el **Caso D**, la revisión de tiempos y del control semanal de producción permitió observar una diferencia entre lo que el taller podía producir y lo que realmente estaba entregando. La empresa producía en promedio 24 sillones completos y 21 armazones por semana, aunque se estimaba una capacidad de 30 a 35 armazones semanales. Esto dejaba una diferencia de entre 9 y 14 piezas. Al revisar la situación, se identificó que el problema no estaba solamente en el tiempo de trabajo, sino también en la disponibilidad de materia prima, el uso compartido de maquinaria, la falta de

mantenimiento y la asignación de tareas adicionales. Con base en ello, se propusieron formatos de mantenimiento, bitácoras y mecanismos de seguimiento para apoyar la continuidad de las operaciones.

Seguridad e higiene

Durante el diagnóstico, la seguridad e higiene destacó como una de las áreas que requería mayor atención. En varias empresas se observó que se daba mayor prioridad a la producción y a las ventas que a la implementación de medidas preventivas y controles de seguridad. Esta tendencia puede observarse en la Figura 2.

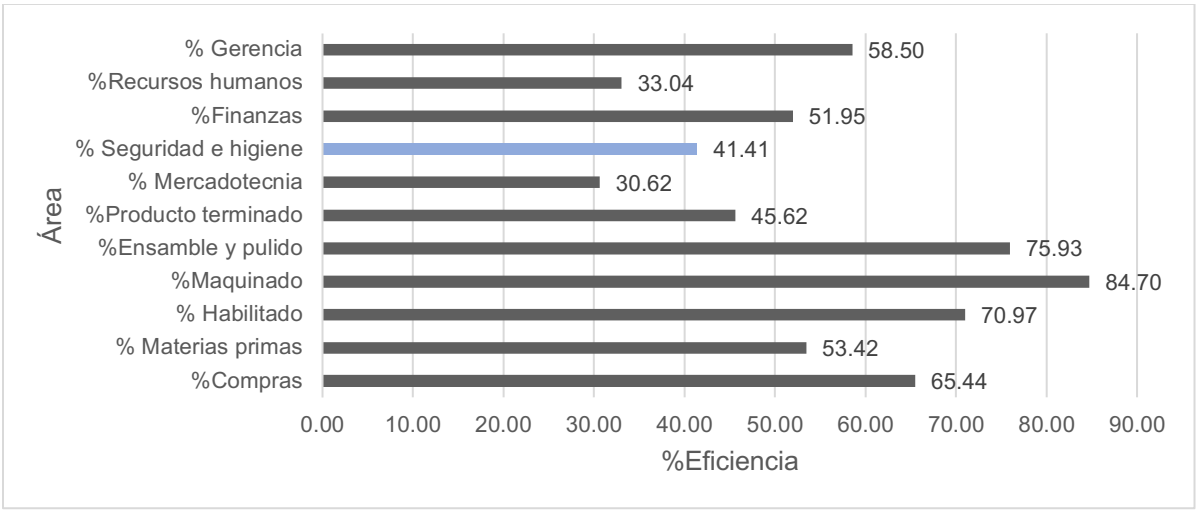


Figura 3 *Eficiencia promedio por área en el diagnóstico sectorial de empresas muebleras*

En el **Caso E**, las acciones se enfocaron en fortalecer la seguridad laboral, promoviendo el uso de equipo de protección personal, la elaboración de manuales de seguridad, la reorganización del taller y un mejor control de materiales. Aunque algunas propuestas no pudieron implementarse durante el periodo de intervención, se desarrollaron con base en las condiciones reales de operación y quedaron documentadas para futuras acciones de mejora.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que las herramientas de Lean Six Sigma pueden ser de gran utilidad para las MiPyMES del sector mueblero, generando mejoras en las distintas áreas operativas incluso con las limitaciones de recursos, infraestructura y estandarización presentes en este tipo de empresas. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Vargas Crisóstomo y Camero Jiménez (2021), quienes señalan que las herramientas como 5S y Kaizen contribuyen a mejorar la productividad y reducir los desperdicios en entornos manufactureros.

Durante el trabajo en los talleres fue notorio que las empresas muebleras de Durango presentan condiciones muy distintas a las de los entornos industriales con mayor nivel de formalización. En la mayoría de los casos, los procesos operativos y administrativos aún dependen en gran medida del conocimiento empírico, existe poca documentación y muchas actividades continúan realizándose de manera manual. Además, la adopción de la tecnología sigue siendo limitada, lo que influye directamente en el control y seguimiento de las operaciones y disminuye la capacidad de los talleres para mejorar sus procesos.

En los casos analizados, las 5S representaron una de las herramientas con mayor impacto inicial, debido a que permitieron acercar al personal a los principios de Lean Six Sigma de una forma práctica y accesible. Más allá del orden y la limpieza, esta metodología ayudó a que los trabajadores identificaran cómo pequeñas acciones dentro de sus áreas podían reducir tiempos perdidos, retrabajos e imprevistos que afectan directamente las operaciones diarias. Las 5S ayudaron a que el personal se adaptara más fácilmente a otras herramientas de mejora continua. Otros autores, como Manzano Ramírez y Gisbert Soler (2016), también consideran a las 5S como un punto de partida para la adopción de metodologías Lean más especializadas.

En algunas empresas, los problemas más frecuentes fueron los retrasos en las entregas y los retrabajos. Por ello, se revisaron los tiempos y movimientos de las actividades para identificar qué tareas aportaban valor y cuáles estaban generando tiempos muertos. A partir de esta revisión, se propusieron ayudas visuales y Poka-Yokes, lo que permitió reducir mediciones repetitivas y desplazamientos innecesarios. También se reorganizaron materiales y espacios de trabajo para facilitar las actividades diarias y disminuir los tiempos de búsqueda.

Otro aspecto importante fue lo observado en el **Caso E.** Aunque en un inicio la empresa mostró disposición para participar en el proyecto, algunas propuestas no pudieron implementarse debido a las implicaciones operativas y económicas que traían consigo. En las empresas duranguenses, la producción diaria muchas veces es la base para mantener la estabilidad económica de los trabajadores y sus familias y detener parcialmente las operaciones para realizar cambios puede percibirse como un riesgo a corto plazo, aun cuando las mejoras puedan generar beneficios posteriores. Esta situación refleja una de las principales dificultades para la implementación de procesos de mejora continua en MiPyMES, especialmente cuando los recursos y tiempos disponibles son limitados.

En general, los resultados resaltan que la implementación de Lean Six Sigma en MiPyMES muebleras requiere un enfoque gradual y adaptado a cada empresa. Por la experiencia en los casos analizados, la mejora continua en este tipo de empresas avanza poco a poco mediante práoeecticas sencillas y accesibles que se puedan mantener con el tiempo.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado en seis empresas del sector mueblero de Durango permitió visualizar que la adecuada aplicación de las herramientas de Lean Six Sigma generó mejoras considerables en sus procesos de fabricación, obteniendo un impacto relevante en la eficiencia operacional, la reducción de desperdicios y óptimo aprovechamiento de los recursos.

Los resultados obtenidos demuestran que la adecuada implementación de metodologías relacionadas a la mejora de procesos genera un impacto significativo en indicadores clave como tiempos de ciclo, reducción de actividades sin valor, estabilidad de los procesos y organización general del entorno.

En los actos más relevantes se puede mencionar que la herramienta identificada como 5S y la gestión visual resultan determinantes para la implementación de las posteriores intervenciones. En los Casos B y F se registraron incrementos promedio en el cumplimiento 5S de 40 % a 85 % y de 37 % a 86 %, respectivamente, además de reducciones considerables en tiempos de ubicación de materiales y herramental (hasta 60 %). Estos resultados confirman que, en ambientes con desorden constante, el orden y la disciplina visual conforman el primer paso para la implementación de mejoras más profundas.

De igual manera, las herramientas sobre estandarización (estudios de tiempos, MTM-1, Poka-Yoke y guías visuales) evidenciaron una reducción de variabilidad y tiempos de ciclo, trayendo consigo un impacto positivo en la efectividad de los procesos. El Caso C mostró disminuciones de 50.2 % en el proceso de corte crítico y 66.2 % en el armado, mientras que el Caso A logró incrementar las actividades con valor agregado de 52 % a 71. Por otro lado, el plan de mantenimiento preventivo resultó de gran relevancia, así como el control operativo (Caso D) evidenciando brechas importantes entre capacidad de producción teórica y producción real, imperando la necesidad de estabilizar las condiciones de operación previo a los incrementos de productividad.

Cabe mencionar que, aunque la mayoría de los casos presentó mejoras claras, no todas las propuestas de mejora pudieron desarrollarse a cabalidad (Caso E), lo que deja entrever que factores internos como la resistencia al cambio, limitaciones de recursos humanos y financieros, así como la falta de liderazgo siguen siendo impedimentos importantes.

En conjunto, los resultados confirman que Lean Six Sigma representa una estrategia viable y efectiva para el sector mueblero, ya que permite disminuir actividades que no agregan valor, reducir costos operativos e incrementar la eficiencia de la organización en general.

Finalmente, se concluye que la adopción de una cultura de mejora continua dentro de las empresas muebleras favorece la sostenibilidad de los resultados obtenidos y abre la posibilidad de implementar nuevas estrategias de optimización. Asimismo, su aplicación sistemática y adaptada puede contribuir

de manera considerable al fortalecimiento y permanencia de las empresas del sector mueblero en un entorno cada vez más competitivo.

REFERENCIAS

Antony, J. (2014). Readiness factors for the Lean Six Sigma journey in the higher education sector. *International Journal of Productivity and Performance Management, 63*(2), 257–264. https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2013-0077

Carrillo-Landazábal, M. S., Vargas-Ortiz, M. L. E., Severiche-Sierra, C. A., Peralta-Ordosgoitia, I. J. T., & Ortega Vélez, I. V. P. (2022). Metodología DMAIC de Lean Seis Sigma: Una revisión en el contexto del ruido industrial-sector metalmecánico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6*(2), 3148–3163. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2081

Groover, M. P. (2016). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (6th ed.). Wiley.

Guerra Franco, M., Rivas Barraza, A., & Pantoja López, D. C. (2025). Evaluación estratégica para la innovación empresarial en el sector mueblero de Durango. En J. Adame García, F. D. Murillo Cuevas, & A. E. Rivera Meza (Coords.), *De la idea al mercado: Estrategias de innovación para el éxito empresarial sostenible en los mercados globales* (pp. 36–47). Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C.

Hernández-Crisostomo, C. del C., Villagrana-Lopez, R. I., Cruz-Queb, K. J., & Caamal-Pech, A. V. (2023). Aplicación de la metodología 5S en un almacén para mejora en una industria azucarera. *593 Digital Publisher CEIT, 8*(1-1), 317–327. https://doi.org/10.33386/593dp.2023.1-1.1640

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw-Hill Education.

IBM. (2024, 26 de marzo). *¿Qué es la eficiencia operativa?* IBM Think. https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/operational-efficiency

Manzano Ramírez, M., & Gisbert Soler, V. (2016). Lean Manufacturing: Implantación 5S. *3C Tecnología: Glosas de Innovación Aplicadas a la Pyme, 5*(4), 16–26. https://doi.org/10.17993/3ctecno.2016.v5n4e20.16-26

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo* (13.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2018). *The Six Sigma handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación*. Ediciones de la U.

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Burgess, N. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson.

Snee, R. D. (2010). Lean Six Sigma: Getting better all the time. *International Journal of Lean Six Sigma, 1*(1), 9–29. https://doi.org/10.1108/20401461011033130

Sony, M., Antony, J., Park, S., & Mutingi, M. (2022). An implementation framework for Lean Six Sigma in small- and medium-sized enterprises. *Total Quality Management & Business Excellence*.

Tejeda, A. S. (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad, 36*(2), 276–310.

Vargas Crisóstomo, E. L., & Camero Jiménez, J. W. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing: 5S y Kaizen para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data, 24*(2), 249–271. https://doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE.

MODELADO DE PARTÍCULAS LAMINARES EN CONCENTRADORES CENTRÍFUGOS: ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE FACTORES DE CORRECCIÓN POR FORMA MEDIANTE SIMULACIÓN EN PYTHON

Raul Amador Vázquez[1]
María del Pilar Reyes Sierra[2]
Laura Guadalupe Butzmann Álvarez[3]

RESUMEN

La morfología del oro aluvial es predominantemente laminar o en escamas, lo que afecta su comportamiento hidrodinámico en concentradores centrífugos. Sin embargo, la mayoría de los modelos de simulación existentes asumen partículas esféricas perfectas, introduciendo errores potencialmente significativos. En este trabajo se desarrolla un modelo numérico en Python que incorpora la esfericidad (φ) como parámetro para representar partículas no esféricas, implementando el modelo de arrastre de Haider & Levenspiel. Bajo las condiciones simuladas (100 µm, 300 RPM, G≈50, modelo 1D simplificado), se estiman preliminarmente factores de corrección por forma de aproximadamente 1.3× para partículas granulares, 1.5× para angulares, 2.8× para laminares y 5.0× para escamas. Se presentan gráficas de trayectorias radiales, comparación en barras, correlación entre esfericidad y tiempo de separación, factores de corrección obtenidos y una tabla resumen de resultados. Estos valores son hipótesis de trabajo que requieren validación experimental. El modelo captura correctamente la tendencia cualitativa esperada —a menor esfericidad corresponde un mayor tiempo de separación—, pero no debe utilizarse para predicciones absolutas sin calibración empírica.

Palabras clave: concentrador centrífugo artesanal, oro aluvial, partículas laminares, esfericidad, factores de corrección, simulación en Python.

INTRODUCCIÓN

La minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) es una actividad económica fundamental en Latinoamérica. Sin embargo, este sector enfrenta desafíos significativos, entre ellos la baja eficiencia en la recuperación de oro fino y el uso generalizado de mercurio [2]. Los concentradores centrífugos han emergido como una tecnología limpia para la recuperación de oro aluvial, pero su costo los hace inaccesibles para muchos operadores artesanales. En respuesta, han surgido diseños locales de

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. raul.amador@itdurango.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. mariapilareyes@durango.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. butzmannitd@itdurango.edu.mx

concentradores centrífugos de bajo costo. Estudios experimentales [4] han demostrado que la velocidad de rotación es la variable más significativa en el rendimiento de separación, con factores G de 50 siendo estándar desde pruebas piloto en los años 80 [8].

En 2025 se presentó una tesis [3] que documenta el diseño y fundamentos físicos de un concentrador centrífugo artesanal. Si bien constituye un punto de partida sólido, su modelo de simulación asume partículas esféricas perfectas, ignorando la morfología laminar del oro aluvial. El propio autor reconoce esta limitación.

OBJETIVO

El presente trabajo implementa una mejora al modelo incorporando la esfericidad (φ) mediante el modelo de Haider & Levenspiel [1]. Es importante destacar que este es un estudio de simulación, no una validación experimental. Los resultados son estimaciones preliminares que requieren confirmación empírica.

METODOLOGÍA

Modelo físico de fuerzas

El movimiento de una partícula dentro de un concentrador centrífugo está dominado por la fuerza centrífuga, la fuerza de arrastre viscoso y la fuerza de flotación. La fuerza centrífuga neta que actúa sobre una partícula de densidad ρ_p, volumen V, a una distancia radial r del eje de rotación con velocidad angular ω, corregida por el empuje del fluido de densidad ρ_f, se expresa como:

$$F_c = (\rho_p - \rho_f) V \omega^2 r$$

La fuerza de arrastre viscoso en régimen turbulento (modelo de Newton) es:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_f A v^2$$

donde $\mathrm{C_d}$ es el coeficiente de arrastre, A es el área transversal de la partícula y v es su velocidad relativa respecto al fluido.

Esfericidad y partículas no esféricas

Para modelar partículas no esféricas, se introduce el parámetro de esfericidad (ϕ), definido como:

$$\phi = \frac{A_{esfera}}{A_{real}}$$

donde A_{esfera} es el área superficial de una esfera del mismo volumen que la partícula, y A_{real} es el área superficial real de la partícula. Este parámetro varía entre 0 y 1, donde ϕ = 1 corresponde a una esfera perfecta. En este trabajo se definen cinco morfologías típicas de oro aluvial [2]:

Tabla 3: Valores de esfericidad (φ) para diferentes morfologías de partículas de oro.

Tipo	Descripción	Esfericidad (ϕ)
Esférico	Partícula redondeada ideal	1.00
Granular	Oro sub-redondeado por abrasión	0.85
Angular	Oro con bordes vivos	0.65
Laminar	Escama gruesa de oro aluvial	0.45
Escama	Escama muy delgada	0.25

Fuente: Elaboración Propia

Modelo de arrastre de Haider & Levenspiel (1989)

Para partículas no esféricas, el coeficiente de arrastre C_D no es constante. Haider & Levenspiel [1] desarrollaron una correlación empírica que expresa C_D en función del número de Reynolds (Re) y la esfericidad (ϕ):

$$C_D = \frac{24}{Re}(1 + A \cdot Re^B) + \frac{C \cdot Re}{D + Re}$$

donde los coeficientes $A, B, C\ y\ D$ dependen exclusivamente de la esfericidad:

- $A = \exp(2.3288 - 6.4581\phi + 2.4486\phi^2)$
- $B = 0.0964 + 0.5565\phi$
- $C = \exp(4.905 - 13.8944\phi + 18.4222\phi^2 - 10.2599\phi^3)$
- $D = \exp(1.4681 + 12.2584\phi - 20.7322\phi^2 + 15.8855\phi^3)$

El número de Reynolds se calcula como: $Re = \frac{\rho_f v d}{\mu}$

Donde d es el diámetro equivalente de la partícula y μ es la viscosidad dinámica del fluido. Para capturar el efecto adicional de la forma laminar sobre la resistencia hidrodinámica, se introduce un factor de arrastre por forma f_{arr} que multiplica al coeficiente C_D base [1][9]:

$$C_{D,efectivo} = C_D \cdot f_{arr}$$

Los valores de f_{arr} para cada morfología son:

Tabla 4. Factores de arrastre (f_{arr}) implementados para cada morfología

Tipo	Factor de arrastre f_{arr}
Esférico	1.00
Granular	1.25
Angular	1.60
Laminar	2.50
Escama	4.00

Fuente: Haider & Levenspiel (1989)

Parámetros de simulación

La simulación se basa en la geometría de un concentrador centrífugo artesanal [3]:

Tabla 5. Parámetros geométricos y operativos del concentrador centrífugo simulado

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Radio de inicio de flujo ascendente	R_1	0.30	m
Radio de inicio de zona de rifles	R_2	0.60	m
Radio de la pared interior	R_3	0.65	m
Posición radial inicial	r_0	0.55	m
Recorrido radial	Δr	0.10	m
Velocidad de rotación	RPM	300	rev/min
Velocidad angular	ω	31.4	rad/s
Factor G	G	~50	-
Tiempo máximo	t_{max}	1.5	s

Fuente. Tesis base [3] (Hernández Ledesma, 2025).

Ecuación del movimiento

La segunda ley de Newton aplicada a la partícula en la dirección radial (única considerada en el modelo 1D) se expresa como:

$$m\frac{dv_r}{dt} = F_c - F_d$$

Sustituyendo las expresiones de F_c y F_d:

$$\frac{dv_r}{dt} = \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\rho_p}\omega^2 r - \frac{1}{2}C_{D,efectivo}\frac{\rho_f A}{m}v_r^2$$

Esta ecuación se resuelve numéricamente mediante el método Runge-Kutta de orden 4-5 (RK45) implementado en la función solve_ivp de SciPy.

Factores de corrección por forma

Para cuantificar la diferencia entre el modelo esférico y el modelo con esfericidad, se define el factor de corrección por forma como:

$$F_{corr} = \frac{t_{real}}{t_{esférico}}$$

donde t_{real} es el tiempo de llegada simulado para una partícula con esfericidad ϕ < 1, y $t_{esférico}$ es el tiempo de llegada para una partícula esférica (ϕ = 1.00) del mismo diámetro equivalente.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones. Todas las figuras mencionadas fueron generadas por el código Python desarrollado en este trabajo.

Tiempos de llegada estimados

Tabla 6. Resultados de simulación (valores redondeados, incertidumbre estimada ±20-30%)

Tipo de partícula	Esfericidad (φ)	Tiempo estimado (ms)	vs Esférica
Esférica	1.00	~70	1.0×
Granular	0.85	~90	~1.3×
Angular	0.65	~105	~1.5×
Laminar	0.45	~200	~2.8×
Escama	0.25	~350	~5.0×

Fuente. Generación propia mediante simulación en Python.

En la tabla 4, se muestran los valores, los cuales se consideran estimaciones del modelo bajo condiciones específicas. La incertidumbre asociada a las simplificaciones del modelo se estima en ±20-30%.

Trayectorias radiales

La Figura 1 muestra las trayectorias radiales de las cinco partículas en función del tiempo. La gráfica principal (Figura 1A) presenta la evolución completa hasta 600 ms, mientras que el recuadro (Figura 1B) muestra un detalle de los primeros 150 ms. En la figura se observa que la partícula esférica, representada por la línea azul sólida, alcanza la pared más rápidamente, con un tiempo estimado de aproximadamente 70 ms. Las partículas granular (línea verde discontinua) y angular (línea naranja punteada) muestran comportamientos intermedios, con tiempos estimados entre 90 y 105 ms. La partícula laminar, identificada por la línea roja punteada fina, presenta una pendiente significativamente menor, con un tiempo estimado de aproximadamente 200 ms. Finalmente, la partícula escama, representada por la línea púrpura con un patrón especial, es la más lenta de todas, con un tiempo estimado de aproximadamente 350 ms.

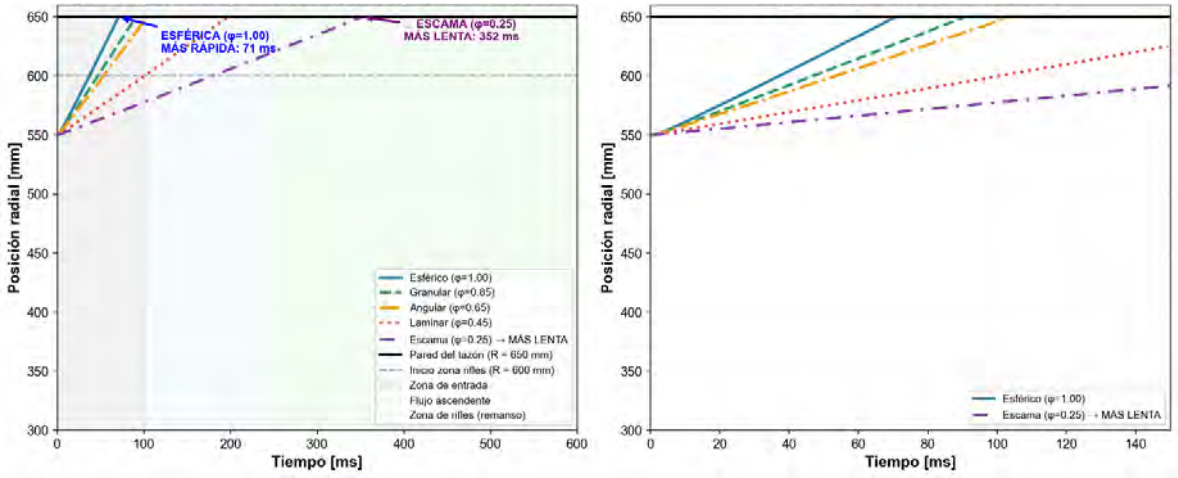


Figura 1: Figura 1A (izq.) Trayectorias radiales completas (0-600 ms). Figura 1B (Der) Detalle de primeros 150 ms. Fuente: Elaboracion Propia

Comparación de tiempos de separación

La Figura 2 presenta una comparación directa de los tiempos de llegada estimados para cada tipo de partícula. En esta figura, la altura de cada columna representa el tiempo estimado en milisegundos, y sobre cada columna se indica el valor numérico redondeado junto con el factor de arrastre correspondiente. Se incluye además una referencia horizontal que marca el tiempo estimado para la partícula esférica, aproximadamente 70 ms. La progresión de los valores estimados, que va desde aproximadamente 70 ms para la partícula esférica hasta 90 ms, 105 ms, 200 ms y finalmente 350 ms

para la partícula escama, muestra claramente el efecto creciente de la morfología a medida que disminuye la esfericidad.

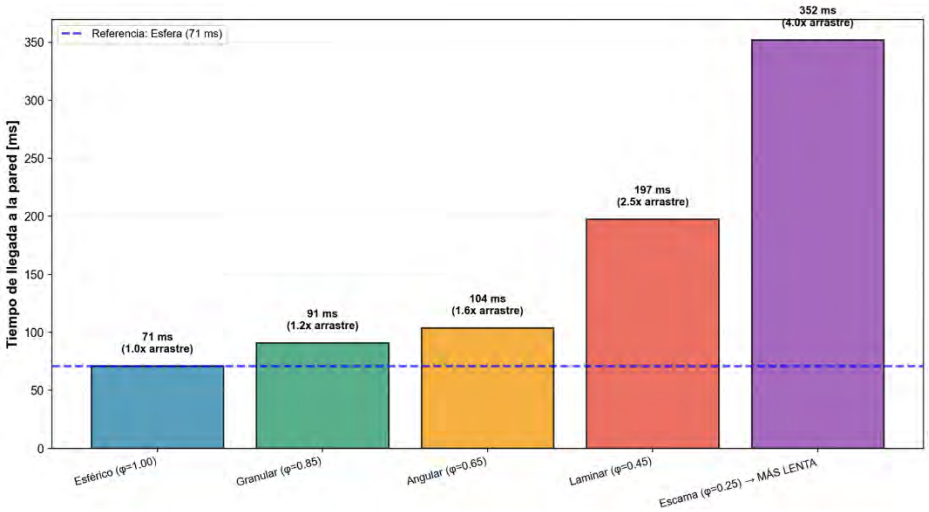


Figura 2. Comparación de tiempos de separación estimados por tipo de partícula.
Fuente: Elaboracion Propia

Correlación entre esfericidad y tiempo de separación

La Figura 3 muestra la correlación entre la esfericidad (φ) y el tiempo de llegada estimado, incluyendo una línea de tendencia polinómica de segundo orden. Existe una clara relación inversa: a menor esfericidad (partículas más planas), mayor tiempo de separación estimado. El tamaño de cada punto es proporcional al factor de arrastre, mostrando cómo las partículas con mayor arrastre (escamas) se desvían más de la tendencia lineal.

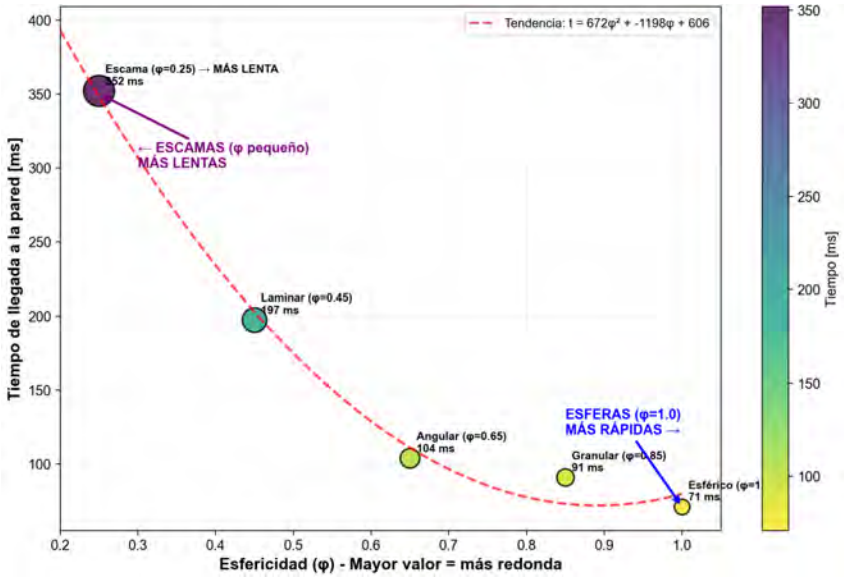


Figura 3. Correlación entre esfericidad (φ) y tiempo de separación estimado. Fuente: Elaboracion Propia

Factores de corrección por forma

La Figura 4 presenta los factores de corrección obtenidos, comparando el factor de arrastre implementado (barras azules) con el factor de corrección de tiempo resultante (barras naranjas). Para partículas granulares, el factor estimado es ~1.3×; para angulares, ~1.5×; para laminares, ~2.8×; para escamas, ~5.0×. Existe una buena correspondencia entre el factor de arrastre implementado y el factor de corrección resultante, lo que sugiere consistencia interna del modelo.

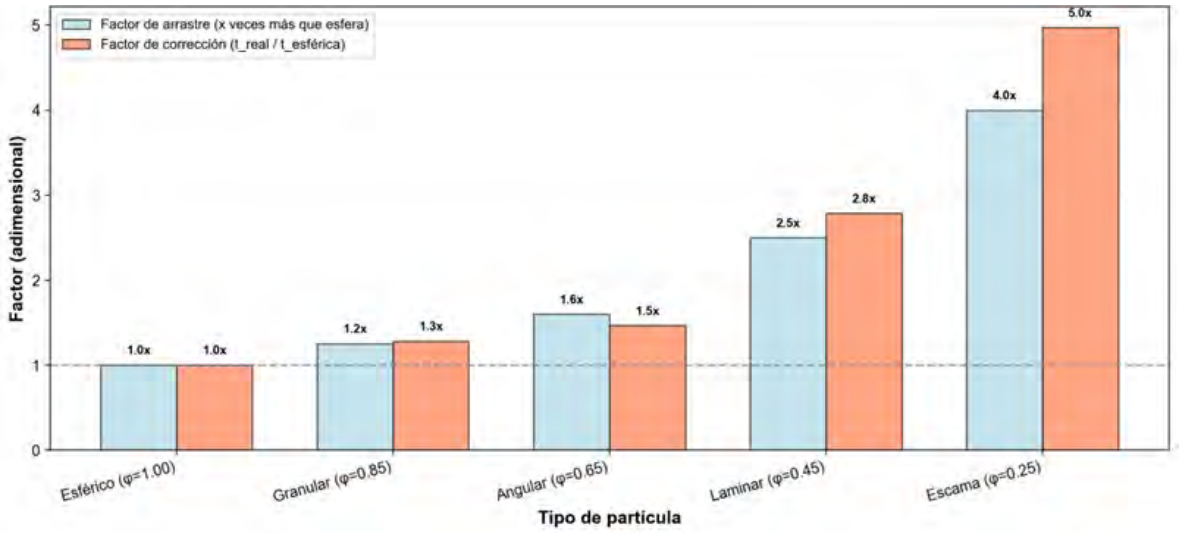


Figura 4. Factores de corrección estimados por forma de partícula.

Fuente: Elaboracion Propia

Resumen de resultados

La Figura 5 presenta una tabla resumen con todos los resultados organizados para referencia rápida, incluyendo tipo de partícula, esfericidad, factor de arrastre, tiempo estimado y factor vs esfera.

Tipo de partícula	Esfericidad (φ)	Factor arrastre	Tiempo (ms)	vs Esfera
Esférico (φ=1.00)	1.000	1.0x	70.8	1.00x
Granular (φ=0.85)	0.850	1.2x	90.8	1.28x
Angular (φ=0.65)	0.650	1.6x	103.8	1.47x
Laminar (φ=0.45)	0.450	2.5x	197.3	2.79x
Escama (φ=0.25) → MÁS LENTA	0.250	4.0x	352.0	4.97x

Figura 5. Resumen de resultados de simulación a 300 RPM, Factor G=60 y diámetro nominal 100 µm.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis de sensibilidad

Para evaluar la influencia del tamaño de partícula y la velocidad de rotación sobre los factores de corrección estimados, se realizaron simulaciones adicionales variando estos parámetros. La Tabla 5 muestra la variación del factor de corrección estimado con el diámetro de partícula para el caso de escama a 300 RPM. Se observa que el factor disminuye a medida que aumenta el diámetro: para

partículas de 50 μm se estima un factor de aproximadamente 6.5×, mientras que para 200 μm el factor se reduce a aproximadamente 3.2×.

Tabla 5. Variación del factor de corrección estimado con el diámetro (escama, 300 RPM)

Diámetro (μm)	Factor estimado
50	~6.5×
100	*~5.0×*
150	~4.0×
200	~3.2×

Fuente. Elaboración propia

La Tabla 6 presenta la variación del factor de corrección estimado con la velocidad de rotación para el caso de escama de 100 μm. A medida que aumenta la velocidad de rotación (y por lo tanto el factor G), el factor de corrección estimado disminuye. A 200 RPM (G≈22) se estima un factor de aproximadamente 6.5×, mientras que a 500 RPM (G≈139) el factor se reduce a aproximadamente 3.2×. Esto indica que aumentar la velocidad de rotación reduce parcialmente el efecto negativo de la forma laminar.

Tabla 6. Variación del factor de corrección estimado con la velocidad (escama, 100 μm)

RPM	Factor G	Factor estimado
200	~22	~6.5×
300	~50	~5.0×
400	~89	~4.0×
500	~139	~3.2×

Fuente. Elaboración propia

DISCUSIÓN

Interpretación cualitativa

Los resultados capturan correctamente la tendencia cualitativa esperada, confirmando que a menor esfericidad (partículas más planas) corresponde un mayor tiempo de separación. Para una escama con esfericidad φ = 0.25, el área transversal efectiva es aproximadamente 4 veces mayor que la de una esfera equivalente, lo que combinado con un coeficiente de arrastre que también aumenta al

disminuir la esfericidad resulta en un tiempo de separación aproximadamente 5 veces mayor. Esta tendencia es consistente con observaciones de campo documentadas en la literatura [2] y con estudios experimentales en concentradores centrífugos [4][5][8].

Comparación con el modelo original

La tesis base de 2025 [3], al asumir partículas esféricas perfectas, subestima el tiempo de separación en aproximadamente un 30% para partículas granulares, un 47% para partículas angulares, un 179% para partículas laminares y hasta un 400% para escamas delgadas. En consecuencia, un concentrador diseñado y operado según las predicciones del modelo esférico podría tener un rendimiento deficiente cuando se alimenta con oro aluvial de morfología laminar, recuperando eficientemente solo las fracciones granulares.

Limitaciones del estudio

Este estudio presenta limitaciones significativas que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, la ausencia de validación experimental implica que los factores estimados son hipótesis de trabajo, no valores confirmados. En segundo lugar, el modelo es unidimensional simplificado que no incluye la fuerza de Coriolis, la turbulencia real ni el movimiento vertical de las partículas. En tercer lugar, el flujo ascendente se ha modelado como constante, no como un perfil realista dependiente de la geometría del tazón y la presión de agua. En cuarto lugar, el rango de validez está limitado a las condiciones simuladas (100 µm y 300 RPM), por lo que la extrapolación a otros tamaños o velocidades requiere verificación adicional. Finalmente, los valores redondeados presentados (~70 ms, ~350 ms) no deben interpretarse como exactos, sino como órdenes de magnitud.

Factores de corrección como estimaciones preliminares

A la luz de las limitaciones señaladas, los valores obtenidos deben considerarse estimaciones preliminares (hipótesis de trabajo) sujetas a validación experimental. La Tabla 7 resume los factores de corrección estimados preliminarmente para cada tipo de morfología de oro aluvial. Estos valores fueron obtenidos a partir de los tiempos de llegada simulados para las condiciones base de 100 µm y 300 RPM. El factor para cada morfología se calculó como el cociente entre su tiempo estimado y el tiempo de la partícula esférica (~70 ms). Los valores resultantes son aproximadamente 1.3× para oro granular, 1.5× para oro angular, 2.8× para oro laminar y 5.0× para oro en escama.

Tabla 7. Factores de corrección estimados preliminarmente

Tipo de oro aluvial	Factor estimado (preliminar)
Granular	~1.3×
Angular	~1.5×
Laminar	~2.8×
Escama	~5.0×

Fuente. Elaboración propia

Trabajo futuro

La prioridad inmediata para la continuidad de esta línea de investigación es la validación experimental. Se requieren pruebas en columna de sedimentación para medir velocidades terminales reales de partículas con diferentes morfologías, así como pruebas en concentrador de laboratorio utilizando muestras de oro aluvial provenientes de la región de estudio. Con los datos empíricos obtenidos, se podrá calibrar el modelo y ajustar los factores de corrección propuestos, siguiendo metodologías documentadas en la literatura especializada [6][7].

CONCLUSIÓN

En este trabajo se ha desarrollado una mejora al modelo de simulación de la tesis base de 2025 [3], incorporando la esfericidad (φ) como parámetro clave para representar la morfología laminar del oro aluvial. Como resultado del modelo implementado, se han generado cinco gráficas (Figuras 1 a 5) que ilustran las trayectorias radiales de las partículas, la comparación en barras de los tiempos estimados, la correlación entre esfericidad y tiempo de separación, los factores de corrección obtenidos y un resumen general de resultados.

Bajo las condiciones simuladas (partículas de 100 μm, 300 RPM, factor G ≈ 50, modelo 1D simplificado), el modelo captura correctamente la tendencia cualitativa esperada, confirmando que a menor esfericidad (partículas más planas) corresponde un mayor tiempo de separación. Las estimaciones preliminares obtenidas sugieren factores de corrección de aproximadamente 1.3 veces para oro granular, 1.5 veces para oro angular, 2.8 veces para oro laminar y 5.0 veces para oro en escama delgada.

Es fundamental reconocer las limitaciones del presente estudio. Sin validación experimental, estos valores deben considerarse hipótesis de trabajo, no conclusiones definitivas. El modelo empleado es unidimensional simplificado que no captura todos los fenómenos relevantes del concentrador real,

como la fuerza de Coriolis, el perfil real del flujo ascendente o la interacción entre partículas. Además, los resultados son válidos solo bajo las condiciones específicas simuladas (100 µm y 300 RPM), por lo que su extrapolación a otros tamaños o velocidades requiere verificación adicional.

En síntesis, este trabajo sienta las bases para futuras validaciones experimentales. Los factores de corrección estimados deben considerarse hipótesis de trabajo hasta que sean confirmados con pruebas de laboratorio utilizando muestras reales de oro aluvial de la región. Se espera que el modelo desarrollado y el código Python asociado sirvan como herramienta de apoyo para el diseño y operación de concentradores centrífugos artesanales, una vez calibrados con datos empíricos.

REFERENCIAS

[1] A. Haider y O. Levenspiel, "Drag coefficient and terminal velocity of spherical and nonspherical particles", *Powder Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 63-70, 1989.

[2] M. M. Veiga y A. J. Gunson, "Gravity Concentration in Artisanal Gold Mining", *Minerals*, vol. 10, no. 11, p. 1026, 2020.

[3] R. D. Hernández Ledesma, *Análisis de los principios físicos de la separación gravimétrica: Un enfoque en el diseño de los concentradores ITD-Durtron*, Tesis de Ingeniería Mecánica, Instituto Tecnológico de Durango, 2025.

[4] M. J. McLeavy, *Continuous centrifugal concentrator operation and control*, Tesis de maestría, University of British Columbia, 2009.

[5] J. Mamani-Quispe et al., "Development of a pneumatic centrifugal concentrator", *Tecnia*, vol. 32, no. 1, pp. 6-12, 2022.

[6] D. Okanigbe et al., "Centrifugal separation experimentation", *Cogent Engineering*, vol. 5, 2018.

[7] M. V. Vechkanova et al., "Experimental studies of two-stage centrifugal dust concentrator", *IOP Conf. Series*, vol. 327, 2018.

[8] E. Forssberg y T. Nordquist, "Pilot plant trials of new gravity concentration equipment", *SME*, 1988.

[9] G. H. Ganser, "A rational approach to drag prediction of spherical and nonspherical particles", *Powder Technology*, vol. 77, no. 2, pp. 143-152, 1993.

[10] S. Koppalkar, *Effect of operating variables in Knelson concentrators*, Tesis de maestría, McGill University, 2009.

[11] J. F. Richardson y W. N. Zaki, "Sedimentation and fluidisation: Part I", *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, vol. 32, pp. 35-53, 1954.

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DEL RASTROJO DE AMARANTO

María de Jesús García Gómez[1]
Oscar Núñez Gaona[2]

RESUMEN

La investigación sobre el rastrojo de amaranto representa una frontera estratégica en la biotecnología moderna, transformando un residuo agrícola abundante en una fuente de recursos de alto valor agregado. Los estudios realizados demuestran que este material posee un perfil lignocelulósico óptimo para ser utilizado como sustrato en bioprocesos complejos, destacando su aplicación en la producción de enzimas y metabolitos secundarios. La investigación se ha centrado en la obtención de ingredientes funcionales y nutracéuticos; a través del estudio de la actividad antioxidante e inhibitoria de la ECA-I de péptidos obtenidos por hidrólisis enzimática de proteínas de este residuo. Además de la producción de xilooligosacáridos (XOS), con potencial prebiótico, aprovechando la liberación de las xilanas durante la fermentación en estado sólido del rastrojo. El uso de este bioproceso también se ha extendido para evaluar la producción de conidias de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, ofreciendo una alternativa sostenible para el control biológico. Este enfoque integral no solo optimiza la bioconversión, sino que se alinea con la economía circular y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (Producción y Consumo Responsables). El desarrollo de metodologías para la caracterización de esta biomasa, consolida una plataforma que reduce el impacto ambiental y promueve la innovación tecnológica en recursos renovables.

Palabras clave: *bioconversión, economía circular, péptidos bioactivos, xilooligosacáridos, sustentabilidad agrícola*.

INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) es un cultivo de gran relevancia en México, reconocido principalmente por el alto valor nutricional y las características funcionales superiores de su grano. Sin embargo, la cosecha genera una cantidad masiva de residuos agrícolas que permanecen abandonados en las parcelas. Se estima que el rendimiento nacional de este cultivo produce entre 1.1 y 2.3 toneladas de grano por hectárea en base seca, acompañadas por 3.8 a 4.1 toneladas de hojas por hectárea. Esto se traduce en la generación de aproximadamente 271,100 toneladas de residuos

[1] Universidad del Papaloapan. oscarnzg@hotmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com

por ciclo de cultivo. Considerando que se pueden llevar a cabo hasta dos ciclos agrícolas anuales (por riego y temporal), la acumulación anual de rastrojo de amaranto (RA) alcanza aproximadamente las 542,200 toneladas. Actualmente, estos residuos agroindustriales carecen de un manejo adecuado y de una disposición final planificada. La mayor parte del rastrojo es quemado directamente en los campos, lo que propicia la liberación de dióxido de carbono (CO_2) y agrava la contaminación atmosférica global mediante la emisión de gases de efecto invernadero. En el mejor de los casos, los productores lo emplean como un forraje de bajo costo para el ganado. No obstante, debido a su compleja matriz lignocelulósica y proteica, el rastrojo de amaranto posee un enorme potencial desaprovechado para la biorrefinería y el desarrollo de tecnologías sostenibles. El objetivo de las investigaciones actuales es transformar este residuo en una materia prima viable para procesos fermentativos y catalíticos que permitan la obtención de compuestos de alto valor industrial. El presente trabajo recopila y analiza los hallazgos científicos derivados del estudio integral del rastrojo de amaranto en tres vertientes biotecnológicas clave: la obtención de péptidos bioactivos antioxidantes, la selección de métodos de pretratamiento para la liberación de azúcares fermentables (AF), y su uso como sustrato de bajo costo para la producción del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, una herramienta fundamental para el control biológico de plagas agrícolas.

DESARROLLO

Obtención de Péptidos Antioxidantes mediante Hidrólisis Enzimática

Los antioxidantes juegan un rol crucial en la salud y la industria alimentaria gracias a su capacidad para neutralizar los radicales libres y mitigar el daño celular provocado por las especies reactivas de oxígeno (ROS). La búsqueda de compuestos naturales y no tóxicos ha incrementado el interés en los péptidos bioactivos, los cuales actúan como aditivos funcionales capaces de inactivar especies pro-oxidantes en matrices alimentarias sin representar riesgos a la salud (clasificados como GRAS). Dado que las fuentes de proteínas convencionales son escasas y costosas, las hojas y los tallos del rastrojo de amaranto se presentan como una fuente proteica no convencional de bajo costo y alta disponibilidad. Para liberar estos péptidos, la biomasa foliar y de tallos cosechada en Tulyehualco (Ciudad de México) fue sometida a secado a 65 °C, molienda y un proceso de desengrasado con acetona. A partir de la harina resultante, se solubilizaron las proteínas a un pH alcalino de 11, precipitándolas posteriormente a su punto isoeléctrico de pH 4.5 para conformar un concentrado proteico (CP) liofilizado. La digestión mono-enzimática del CP se realizó utilizando Flavourzyme® y Alcalase®. La digestión enzimática demostró que las dos enzimas rompen eficazmente los enlaces peptídicos de la proteína del rastrojo de amaranto. El grado de hidrólisis con Flavourzyme® y

Alcalase® fue de 16.31% y 12.64%, respectivamente. La variabilidad observada en el grado de hidrólisis se explica por la especificidad de los sitios de corte de cada enzima sobre la estructura cuaternaria de las fracciones globulares y albúminas características del amaranto, descritas clásicamente por Soriano-Santos *et al.* (1992).

A los hidrolizados fraccionados por tamaño molecular, se les determinó la actividad antioxidante, observándose la misma en todo el espectro de tamaños moleculares evaluados (Figura 1). Los resultados mostraron que las proteínas nativas del rastrojo de amaranto requieren ser fragmentadas mediante catálisis enzimática para exhibir propiedades biológicas, lo cual coincide con lo reportado por Montoya-Rodríguez *et al.* (2015), quienes afirmaron que las proteínas de amaranto poseen un alto contenido de secuencias bioactivas que se liberan tras la hidrólisis. Asimismo, el hecho de encontrar actividad antioxidante en fracciones de amplio espectro molecular (< 1 kDa a > 10 kDa) respalda la hipótesis de Saito *et al.* (2003), quienes señalaron que la actividad funcional depende más de la composición y ordenamiento de aminoácidos específicos en la secuencia peptídica que del peso molecular absoluto de la molécula.

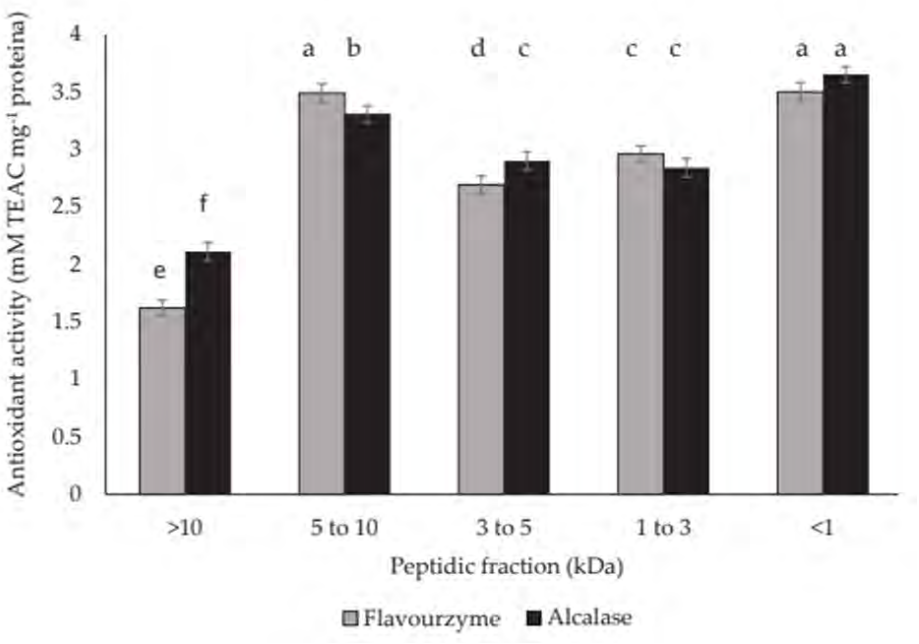


Figura 1. Actividad antioxidante de las cinco fracciones peptídicas del hidrolizado de RA con Flavourzyme® y Alcalase®. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Métodos de Pretratamiento y Sacarificación para la Producción de Azúcares Fermentables

La biomasa del RA está constituida por carbohidratos estructurales complejos (celulosa y hemicelulosa) fuertemente ligados a una matriz rígida de lignina. Para aprovechar comercialmente estos carbohidratos en forma de azúcares fermentables (AF), es necesario romper esta barrera

molecular mediante un pretratamiento que facilite el posterior ataque enzimático. Cinco pretratamientos fueron evaluados sobre RA precedente de Tlaxcala, México; para inducir la deslignificación: (I) Físico por vapor: suspensión del rastrojo en agua (proporción 1:10 p/v) tratada en autoclave a 121 °C por 5 horas. (II) Físico por ultrasonido: la suspensión acuosa se procesó mediante una sonda de titanio (20 kHz, 100 W a 50 °C) durante 60 minutos, evaluando amplitudes (50% y 75%) y ciclos de trabajo (50%, 70% y 90%). (III) Químico alcalino: suspensión del RA en hidróxido de sodio (NaOH 3.5 N) bajo agitación constante por 5 horas. (IV) Combinado alcalino + vapor: suspensión en NaOH 3.5 N sometida a condiciones hidrotérmicas en autoclave a 120 °C por 5 horas. (V) Combinado alcalino + ultrasonido: exposición de la biomasa a diferentes concentraciones de la base química (NaOH 2 N, 2.5 N, 3 N y 3.5 N) asistida por ultrasonido durante 60 minutos. La degradación estructural fue monitoreada midiendo la liberación de AF con el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) y validada por espectroscopia infrarroja (FTIR). Los métodos que lograron la mayor concentración de AF en el medio fueron el II (pretratamiento físico por ultrasonido) y el V (pretratamiento combinado alcalino-ultrasónico con NaOH 3.5 N) (Figura 2).

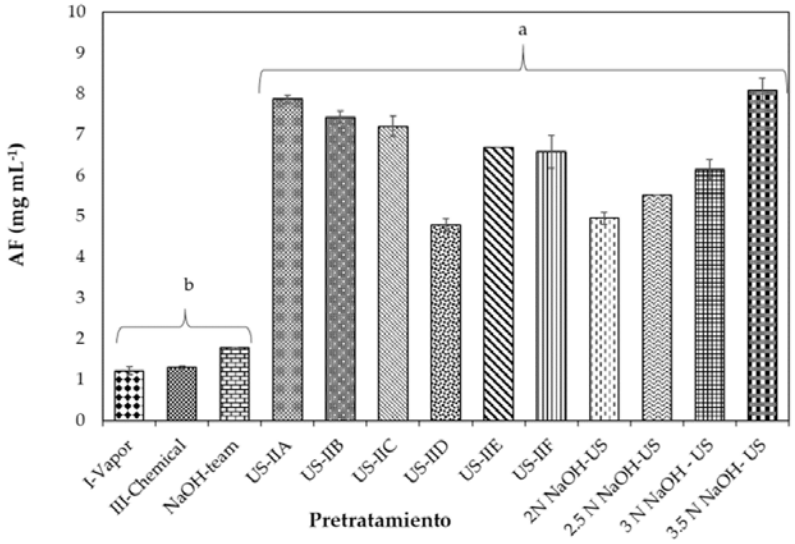


Figura 2. Comparación del efecto de diferentes pretratamientos sobre la concentración de AF. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

La complejidad de la biomasa lignocelulósica exige un pretratamiento severo pero controlado; como señalan Subhedar *et al.* (2018) y Araújo *et al.* (2019), la remoción de la lignina rompe la protección física de la hemicelulosa y celulosa, exponiendo las cadenas de glucano a las enzimas. Los resultados demuestran que los métodos asistidos por ultrasonido son superiores. Esto valida los hallazgos de Shah y Mohanraj (2014), quienes describieron que las ondas ultrasónicas inducen fenómenos de cavitación acústica que generan microcorrientes mecánicas capaces de fracturar las paredes celulares vegetales. Adicionalmente, el pretratamiento químico alcalino convencional (NaOH) suele requerir

tiempos prolongados y genera riesgos ambientales, pero al ser co-asistido por ultrasonido, el tiempo de residencia se reduce a solo 60 minutos con una alta tasa de deslignificación.

Por otro lado, para complementar la información sobre el efecto de los pretratamientos en la estructura de los componentes del RA se presentan los espectros de FTIR en la Figura 3 y se explican en la Tabla 1.

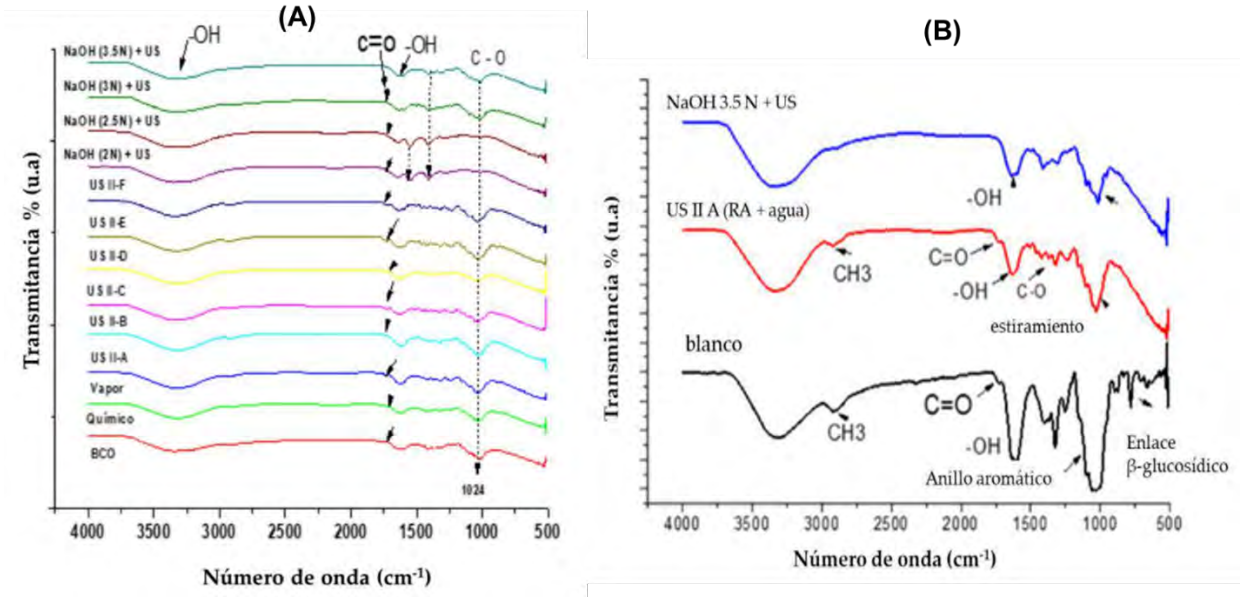


Figura 3. Espectros de FTIR de los diferentes pretratamientos (A) y de los tratamientos que produjeron la mayor concentración de AF (B) aplicados al RA

Tabla 1 Descripción de los espectros de FTIR de los diferentes pretratamientos aplicados al RA

Región de la Banda (cm^{-1})	Asignación Estructural / Enlace Químico	Descripción en Rastrojo con Agua (Control)	Efecto de los Pretratamientos (Físicos, Químicos y Combinados)	Referencias
3400 – 3300	Estiramiento de grupos hidroxilo (-OH).	Banda ancha y de gran intensidad debido a los puentes de hidrógeno inter e intramoleculares de la celulosa.	Se mantiene presente en todos los tratamientos, con ligeras variaciones en intensidad debido a la hidratación y exposición de la celulosa de la pared celular.	Méndez-Arango *et al.* (2019)
~2920	Estiramiento asimétrico y simétrico C-H.	Señal característica de los grupos metilo ($-CH_3-$) y metileno($-CH_2-$) presentes en los polímeros de la biomasa.	Presenta pocos cambios estructurales, sirviendo como referencia de la estabilidad alifática basal del rastrojo.	Méndez-Arango *et al.* (2019) / Araújo *et al.* (2019)
~1732	Estiramiento del grupo carbonilo (C=O).	Banda nítida asociada a los grupos éster de la lignina y grupos acetilo de las hemicelulosas (xilanos).	Disminución moderada en pretratamientos físicos (vapor/ultrasonido puro). Desaparición casi total en tratamientos alcalinos y alcalino-ultrasónicos por la hidrólisis y desacetilación de la hemicelulosa.	Subhedar y Gogate (2016) y Torres *et al.* (2016)
~1515	Estiramiento del esqueleto aromático C=C.	Vibración propia del anillo bencénico presente de manera exclusiva en la estructura rígida de la lignina.	Se mantiene inalterada en tratamientos físicos acuosos. Muestra una atenuación y disminución significativa en el método combinado alcalino-ultrasónico, confirmando una deslignificación efectiva en menor tiempo.	Shah y Mohanraj (2014) y Subhedar *et al.* (2018)

~1245	Estiramiento del enlace C-O.	Señal correspondiente a las unidades de guayacilo y enlaces éster de la matriz de lignina.	Disminuye notablemente en los medios alcalinos coasistidos por energía física, reflejando el desmantelamiento y solubilización de la red fenólica protectora.	Torres *et al.* (2016) Marx *et al.* (2014)
1100 – 1030	Estiramiento C-O y deformación C-O-C.	Región de la "huella dactilar" de los carbohidratos, típica del anillo de piranosa en celulosa y hemicelulosa.	Incremento en la definición y absorción relativa en el tratamiento combinado alcalino-ultrasónico. Al removerse la lignina amorfa, las microfibrillas de celulosa quedan expuestas y ordenadas.	Araújo *et al.* (2019) y Gong *et al.* (2020)

Producción, Virulencia y Viabilidad de Conidios de *Beauveria bassiana*

El control biológico de insectos plaga mediante formulaciones basadas en hongos entomopatógenos representa una alternativa ecológica crucial para sustituir los pesticidas químicos sintéticos en la agricultura sustentable. El éxito comercial de estos bioproductos radica en la capacidad de producir masivamente unidades infectivas (conidios aéreos) de alta viabilidad y virulencia contra los huéspedes. Clásicamente, la fermentación en estado sólido (FES) utiliza granos de consumo humano de alta calidad como el arroz (*Oryza sativa*), lo que incrementa los costos de producción y representa una competencia con la seguridad alimentaria. Debido a su alta disponibilidad y su adecuada relación carbono/nitrógeno (C/N), el RA se evaluó como sustrato alternativo de bajo costo. Este estudio evaluó el desempeño biotecnológico de una cepa silvestre de *Beauveria bassiana* DS3.17 (aislada de insectos micosados endémicos de cafetales de Valle Nacional, Oaxaca), a través de la cinética de FES de dos sustratos: arroz blanco comercial y rastrojo de amaranto. Las unidades experimentales fueron recipientes con 25 gramos de cada sustrato, inoculados con 32.5 mL de conidios a una concentración de 2 x 10^9 conidios/mL, 75 % de humedad inicial, Aw de 0.99, y se incubaron a 25 °C durante 14 días. Cada 24 horas se tomaron muestras para determinar el rendimiento de conidios por gramo de sustrato, su viabilidad celular (capacidad de germinación) y su virulencia medida a través del tiempo letal cincuenta (TL_{50}) contra una población de larvas de *Tenebrio molitor*.

El análisis cinético determinó que el rendimiento cuantitativo de conidios fue superior en el sustrato de referencia (Figura 4). A pesar de la diferencia numérica en la producción masiva de conidios con arroz, no se encontraron diferencias significativas en los parámetros de calidad de los conidios producidos con los 2 sustratos (Figura 5a). Además, los conidios producidos en el RA exhibieron tasas de viabilidad y capacidad de germinación equivalentes a los producidos en arroz, así como una virulencia alta en su perfil cinético de mortalidad (TL_{50}) (Figura 5b).

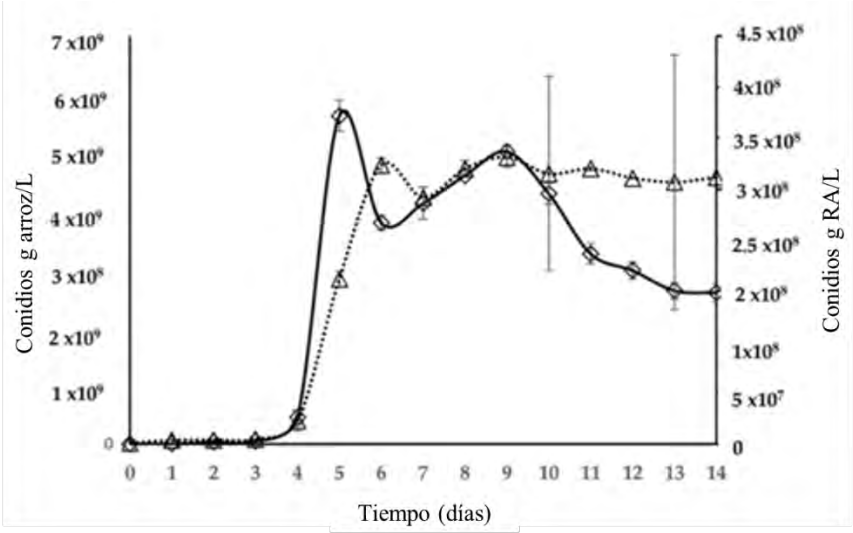


Figura 4. Producción de conidios de *Beauveria bassiana* DS3.17 por FES utilizando arroz (◊) o RA (Δ) como sustrato. Las diferentes escalas en el gráfico se utilizan para resaltar los perfiles de producción de conidios para ambos sustratos, ya que existe una diferencia significativa en magnitud entre ellos.

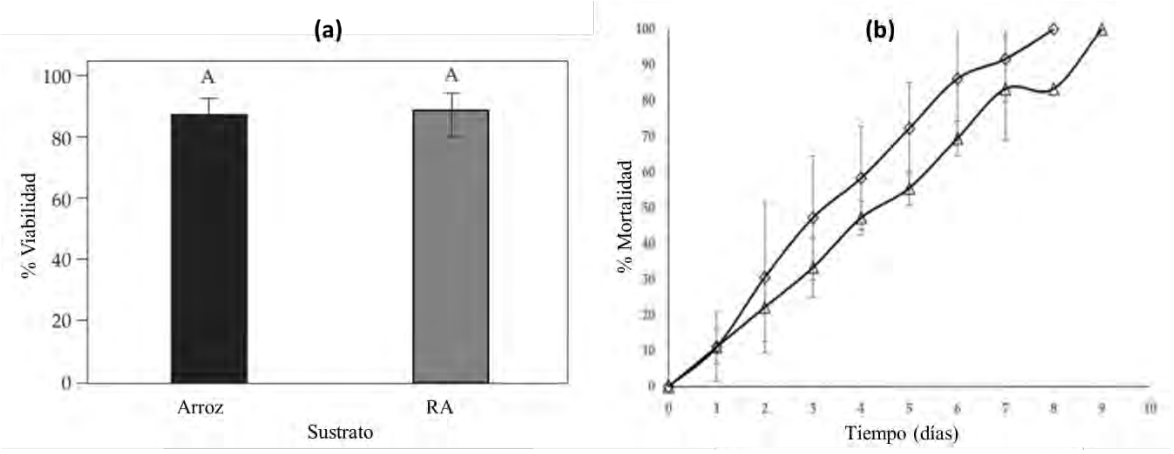


Figura 5. Conidios de *Beauveria bassiana* DS3.17 producidos por FES. (a) % de Viabilidad: (negro) arroz o (gris) RA. Las letras iguales indican que no existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$). (b) % de Mortalidad: (◊) arroz o (Δ) RA.

De acuerdo con Jaronski (2023), los residuos agroindustriales lignocelulósicos son soportes ideales para la FES debido a su bajo costo y abundancia. La reducción en la concentración final de conidios sobre RA en comparación con el arroz se explica por la estructura del grano de arroz, el cual dispone de almidón de fácil asimilación metabólica inmediata. Sin embargo, como bien describen Altinok *et al*. (2019), la síntesis de enzimas hidrolíticas (como proteasas, quitinasas y lipasas) en hongos entomopatógenos está regulada por mecanismos de inducción-represión a nivel de sustrato. Por otro lado, la viabilidad es un parámetro crucial en la producción de hongos entomopatógenos, en este estudio, se obtuvieron valores que oscilaron entre el 87.4 % y el 88.9 %, valores que están dentro de los valores requeridos en las formulaciones biológicas cuya eficacia deberá de ser superior al 85 %

(Jaronski, 2023). Asimismo, el porcentaje de mortalidad de las larvas de *T. molitor* alcanzó el 100 % en 8 y 9 días cuando se utilizaron conidios de *Beauveria bassiana* DS3.17 producidos con arroz y RA, respectivamente; estos tiempos fueron menores a los reportados en la literatura (Molina y Espinal, 2000; Montesinos-Matías *et al.*, 2011) y las medias de los resultados no fueron estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$) entre ambos sustratos. Finalmente, el tiempo letal 50 (LT_{50}) con los conidios de *B. bassiana* DS3.17 producidos sobre arroz fue de cuatro días; este resultado concuerda los de Molina y Espinal (2000).

CONCLUSIONES

El análisis conjunto de las tres investigaciones científicas evidencia que el rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) posee una composición química de alto valor para el sector de la biotecnología industrial y la bioeconomía circular. A través de la integración de procesos químicos, físicos y biológicos, es posible desarrollar tecnologías de aprovechamiento integral de este cultivo. Tal es el caso de la hidrólisis enzimática de las proteínas que permite obtener péptidos bioactivos con actividad antioxidante que podrían incorporarse en la formulación de alimentos funcionales. Por otro lado, la aplicación de pretratamientos físicos, químicos y combinados a la biomasa induce la deslignificación permitiendo la liberación de azúcares fermentables aplicables a procesos de bioconversión. Finalmente, el rastrojo de amaranto puede servir como sustrato de bajo costo, para el cultivo masivo de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana*, generando agentes de control biológico con una viabilidad y virulencia similares a las obtenidas en sustratos alimentarios comerciales comunes, pero a una fracción de su costo de producción. El desarrollo y la adopción de estas tecnologías de valorización no solo ofrecen soluciones técnicas a la demanda de materias primas industriales, sino que también brindan una respuesta al impacto ambiental en el campo mexicano. Mitigar la quema de más de medio millón de toneladas de biomasa lignocelulósica anual mediante su redirección hacia bioprocesos controlados es un paso fundamental hacia la transición verde y la consolidación de refinerías sustentables basadas en el aprovechamiento total de los recursos agrícolas nativos

REFERENCIAS

Altinok, H. H., Altinok, M. A., & Koca, A. S. (2019). Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences, 8*(16), 117-124.

Araújo, D., Vilarinho, M., & Machado, A. (2019). Effect of combined dilute-alkaline and green pretreatments on corncob fractionation: Pretreated biomass characterization and regenerated cellulose film production. *Industrial Crops and Products, 141*, 111785. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111785

Arce, M. B. (2011). *Obtención de compuestos biofuncionales a partir del material lignocelulósico de Amaranthus hypochondriacus L.* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana]. https://doi.org/10.24275/uami.2b88qc43c

García-Gómez, M. J., Chávez-Valerio, D. Y., Nuñez-Gaona, O., Nolasco-Hipólito, C., & Carrillo-Ahumada, J. (2025). Comparación entre diferentes métodos de pretratamiento para la producción de azúcares fermentables a partir de rastrojo de amaranto. Tecnociencia Chihuahua, 19(4), Artículo e1765. https://doi.org/10.54167/tch.v19i4.1765

Gong, Z., Wang, X., Yuan, W., Wang, Y., Zhou, W., Wang, G., & Liu, Y. (2020). Fed-batch enzymatic hydrolysis of alkaline organosolv-pretreated corn stover facilitating high concentrations and yields of fermentable sugars for microbial lipid production. *Biotechnology for Biofuels, 13*, 13. https://doi.org/10.1186/s13068-019-1639-9

Hipólito-Nolasco, C., Ramírez-Isidro, O., Núñez-Gaona, O., Ávila-Alejandre, A. X., Hernández-López, A., & García-Gómez, M. J. (2022). Antioxidant activity of peptides obtained by enzymatic hydrolysis from proteins of amaranth (Amaranthus hypochondriacus L.) stubble. Agrociencia, 56(3). https://doi.org/10.47163/agrociencia.v5613.2800

Jaronski, S. T. (2023). Mass production of entomopathogenic fungi state of the art. En J. A. Morales-Ramos, M. G. Rojas, & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.), *Mass production of beneficial organisms, invertebrates and entomopathogens* (2.ª ed., pp. 317-357). Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2018-0-00128-0

López-Sosa, D., García-Gómez, M. J., Carrillo-Ahumada, J., & Núñez-Gaona, O. (2023). Production, virulence, and viability of Beauveria bassiana (Bals.) Vuill. conidia obtained by fermentation of amaranth stubble. Agrociencia, 57(6). https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i6.2929

Marx, S., Xaba, N., & Chiyanzu, I. (2014). Amaranth lignocellulose as feedstock for bioethanol production: effect of microwave assisted alkaline pretreatment on reducing sugar yield. *22nd European Biomass Conference and Exhibition*, 896–900.

Méndez-Arango, M. F., López-Sosa, D., Núñez-Gaona, O., & García-Gómez, M. de J. (2019). Evaluación del crecimiento radial sobre forraje de amaranto de hongos filamentosos aislados de hojas de café. *Mexican Journal of Biotechnology, 4*(2), 47–59. https://doi.org/10.29267/mxjb.2019.4.2.47

Montoya-Rodríguez, A., Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., & González de Mejía, E. (2015). Identification of bioactive peptide sequences from amaranth (Amaranthus hypochondriacus) seed proteins and their potential role in the prevention of chronic diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 14*(2), 139-158. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12125

Saito, K., Jin, D. H., Ogawa, T., Muramoto, K., Hatakeyama, E., Yasuhara, T., & Nokihara, K. (2003). Antioxidative properties of tripeptide libraries prepared by the combinatorial chemistry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*(12), 3668-3674. https://doi.org/10.1021/jf021191n

Shah, J. J., & Mohanraj, K. (2014). Comparison of Conventional and Microwave-assisted Synthesis of Benzotriazole Derivatives. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 76*(1), 46–53.

Soriano-Santos, J., Iwabuchi, S., & Fujimoto, K. (1992). Solubility of amaranth seed proteins in sodium sulphate and sodium chloride: the main factor in quantitative extraction for analysis. *International Journal of Food Science and Technology, 27*(3), 337-346. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb02035.x

Subhedar, P. B., & Gogate, P. R. (2016). Use of Ultrasound for Pretreatment of Biomass and Subsequent Hydrolysis and Fermentation. En S. I. Mussatto (Ed.), *Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery* (pp. 127–149). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802323-5.00006-2

Subhedar, P. B., Ray, P., & Gogate, P. R. (2018). Intensification of delignification and subsequent hydrolysis for the fermentable sugar production from lignocellulosic biomass using ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry, 40*(Part B), 140–150. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.01.030

MODIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL RASTROJO DE AMARANTO DURANTE EL PRETRATAMIENTO CON ULTRASONIDO

José Fernando Lorenzo Villalobos[1]
María De Jesús García Gómez[2]

RESUMEN

La evaluación de pretratamientos en biomasa lignocelulósica es fundamental para determinar su eficiencia en la liberación de compuestos de interés como azúcares derivados de la hemicelulosa. El objetivo de este estudio fue analizar los cambios generados en mezclas de rastrojo de amaranto con agua (RA + H_2O) y NaOH 3.5 N (RA + NaOH), pretratadas con ultrasonido durante 50 minutos, tomando muestras cada 10 minutos, mediante espectroscopía FTIR y la determinación de la concentración de azúcares reductores (AR). El análisis por FTIR evidenció modificaciones en los grupos funcionales de la biomasa tratada, observándose cambios en la intensidad y presencia de bandas características de lignina y carbohidratos. En particular, la intensificación de señales en el rango de 897–918 cm^{-1}, asociadas a enlaces β-glucosídicos, sugiere la exposición o formación de estructuras derivadas de carbohidratos, mientras que la disminución de bandas relacionadas con lignina indica procesos de deslignificación más efectivos. En cuanto a la cinética de producción de AR, se observó un incremento progresivo conforme avanzó el tiempo de tratamiento en ambos sistemas. Sin embargo, en RA + H_2O el aumento fue limitado y tendió a estabilizarse hacia los últimos intervalos, mientras que en RA + NaOH el incremento fue mayor y sostenido hasta 50 minutos.

Palabras clave: *Azúcares reductores, FTIR, Ultrasonido, Biomasa lignocelulósica, Rastrojo de amaranto*

INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales lignocelulósicos representan una fuente abundante de biomasa con potencial para la obtención de compuestos de valor agregado mediante procesos biotecnológicos. Entre estos residuos destaca el rastrojo de amaranto, subproducto agrícola generado después de la cosecha y trillado del cultivo de *Amaranthus hypocondriacus*. Generalmente, este material es desechado o quemado en los campos agrícolas, contribuyendo a problemas de contaminación ambiental y emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, debido a su composición rica en

[1] Universidad del Papaloapan. lorenzovillalobos875@gmail.com
[2] Universidad del Papaloapan. unpal7@gmail.com

celulosa, hemicelulosa y lignina, el rastrojo de amaranto puede ser utilizado como materia prima en procesos de valorización de biomasa (Dong *et al*., 2023).

La biomasa lignocelulósica posee una estructura compleja y altamente recalcitrante debido a la interacción entre celulosa, hemicelulosa y lignina. La lignina actúa como una barrera protectora que limita el acceso a los polisacáridos estructurales, dificultando procesos posteriores como hidrólisis, fermentación o extracción de compuestos bioactivos (Kumar *et al*., 2016). Por ello, es necesario aplicar métodos de pretratamiento capaces de modificar la estructura vegetal y favorecer la accesibilidad a sus componentes internos.

En los últimos años, el ultrasonido ha adquirido relevancia como tecnología de pretratamiento debido a su capacidad para inducir cambios físicos y químicos en materiales lignocelulósicos mediante cavitación acústica. Este fenómeno genera microzonas de alta presión y temperatura que ocasionan fuerzas de cizallamiento capaces de alterar la organización estructural de la biomasa, incrementar la porosidad y favorecer procesos de deslignificación parcial (Suslick, 1990). Además, la aplicación de ultrasonido puede disminuir tiempos de procesamiento y reducir el uso de reactivos químicos en comparación con métodos convencionales (Chemat *et al*., 2016).

Diversos estudios han demostrado que el pretratamiento ultrasónico favorece modificaciones estructurales detectables mediante técnicas analíticas como la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), permitiendo identificar cambios en grupos funcionales asociados a lignina, hemicelulosa y celulosa (Wu *et al*., 2017). Asimismo, la liberación de azúcares reductores y la formación de compuestos derivados de hemicelulosa pueden evaluarse mediante métodos espectrofotométricos y cromatográficos.

En este sentido, el estudio de la modificación estructural del rastrojo de amaranto durante el pretratamiento con ultrasonido representa una alternativa importante para el aprovechamiento sustentable de residuos agrícolas y el desarrollo de estrategias de valorización de biomasa con potencial aplicación biotecnológica.

MARCO TEÓRICO

Biomasa lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica constituye una de las fuentes renovables más abundantes para la obtención de compuestos de interés biotecnológico. Está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, polímeros estructurales que conforman la pared celular vegetal. Los residuos agroindustriales ricos en estos componentes representan una alternativa sostenible para el desarrollo

de procesos de valorización orientados a la producción de compuestos bioactivos y azúcares fermentables (Saval, 2012).

Dentro de estos residuos destaca el rastrojo de amaranto, un subproducto agrícola generado después del proceso de cosecha y trillado. Debido a su contenido de hemicelulosa y lignina, este material puede emplearse como materia prima en procesos biotecnológicos enfocados en la obtención de carbohidratos de interés industrial y alimentario. Además, el aprovechamiento de este tipo de residuos contribuye a disminuir problemas ambientales asociados con su acumulación o quema en campo abierto.

Pretratamientos de biomasa lignocelulósica

Los materiales lignocelulósicos presentan una estructura compleja y resistente a la degradación química o enzimática debido a la interacción entre celulosa, hemicelulosa y lignina. Por ello, es necesario aplicar pretratamientos que permitan modificar la estructura vegetal y aumentar la disponibilidad de azúcares fermentables. Entre los métodos más utilizados se encuentran los tratamientos físicos, químicos y fisicoquímicos (Kumar *et al.*, 2016; Ravindran & Jaiswal, 2015).

El pretratamiento alcalino utilizando NaOH ha mostrado alta eficiencia en la eliminación de lignina, debido a que los reactivos alcalinos interactúan principalmente con esta fracción estructural. La deslignificación favorece la exposición de la celulosa y hemicelulosa, facilitando procesos posteriores de hidrólisis y liberación de azúcares reductores (Kim *et al*., 2015).

Ultrasonido aplicado a biomasa

La ultrasonificación es una técnica basada en la aplicación de ondas ultrasónicas superiores a 20 kHz que generan cavitación acústica en medios líquidos. Este fenómeno produce ciclos de compresión y rarefacción capaces de formar e implosionar microburbujas, liberando energía en forma de presión y temperatura localizada (Suslick, 1990).

En biomasa lignocelulósica, el ultrasonido favorece la ruptura parcial de estructuras celulares, incrementa la porosidad y mejora la accesibilidad a los carbohidratos estructurales. Además, reduce tiempos de procesamiento y consumo de reactivos en comparación con métodos convencionales (Chemat *et al*., 2016).

La combinación de ultrasonido con NaOH genera un efecto sinérgico entre la acción química y mecánica. Mientras el NaOH rompe enlaces éster y éter presentes en lignina y hemicelulosa, la cavitación acústica facilita la penetración del reactivo químico dentro de la matriz vegetal. Esto incrementa la deslignificación y favorece la liberación de azúcares fermentables (Mason *et al*., 1994; Tiwari, 2015).

Diversos estudios han demostrado que el uso de ultrasonido y ultrasonido + NaOH en residuos lignocelulósicos mejora significativamente la hidrólisis y la liberación de carbohidratos. En rastrojo de amaranto tratado con estas tecnologías se ha reportado una reducción considerable de lignina y modificaciones estructurales asociadas con la posible formación de xilooligosacáridos (García Gómez *et al*., 2025).

Cuantificación de azúcares reductores

Los azúcares reductores son carbohidratos que poseen grupos carbonilo libres capaces de actuar como agentes reductores. Entre ellos se encuentran glucosa, fructosa y maltosa, cuya cuantificación es fundamental en estudios relacionados con hidrólisis de biomasa y procesos biotecnológicos (Miller, 1959).

Uno de los métodos más empleados para su determinación es el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). Este método se basa en la reducción del reactivo DNS por los azúcares reductores en condiciones alcalinas y temperatura elevada, formando un compuesto coloreado cuantificable espectrofotométricamente alrededor de 540 nm (Miller, 1959).

La cuantificación de azúcares reductores permite evaluar la eficiencia de los pretratamientos aplicados a biomasa lignocelulósica, ya que un incremento en la concentración de azúcares liberados indica una mayor degradación de hemicelulosa y celulosa. Estudios realizados en biomasa tratada con ultrasonido y tratamientos alcalinos reportan incrementos significativos en la liberación de carbohidratos fermentables (Ghose, 1987).

Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) es una técnica analítica utilizada para identificar grupos funcionales presentes en materiales orgánicos e inorgánicos mediante el análisis de vibraciones moleculares. Su fundamento se basa en la absorción de radiación infrarroja por enlaces químicos que vibran a frecuencias específicas, generando bandas características para cada grupo funcional (Smith, 2011).

FTIR permite identificar componentes estructurales como lignina, celulosa y hemicelulosa, además de evaluar cambios químicos producidos por tratamientos físicos o químicos aplicados a biomasa lignocelulósica (Stuart, 2004).

En estudios de biomasa tratada con ultrasonido se han detectado modificaciones en bandas asociadas a lignina y carbohidratos. Particularmente, se han observado señales en el rango de 897–918 cm^{-1} relacionadas con enlaces β-glucosídicos presentes en hemicelulosa, lo que indica cambios estructurales derivados del pretratamiento y posibles procesos de liberación de oligómeros (García Gómez *et al.,* 2025).

ANTECEDENTES

Diversos estudios han evaluado el uso de ultrasonido y tratamientos alcalinos en biomasa lignocelulósica con el objetivo de mejorar la liberación de azúcares fermentables y modificar la estructura vegetal. (Sun *et al*. 2001) reportaron que el ultrasonido aplicado en bagazo de caña favoreció la ruptura parcial de la estructura lignocelulósica, facilitando la eliminación de lignina y hemicelulosa. Asimismo, (Kunaver *et al*. 2011) observaron que el ultrasonido de alta energía redujo significativamente los tiempos de hidrólisis en residuos lignocelulósicos.

Por otra parte, (Subhedar y Gogate 2016) demostraron que la combinación de ultrasonido con NaOH incrementa la deslignificación y mejora la liberación de azúcares fermentables. De manera similar, (García Gómez *et al*. 2025) reportaron cambios estructurales y reducción de lignina en residuos vegetales tratados con ultrasonido y ultrasonido + NaOH, favoreciendo la disponibilidad de carbohidratos derivados de hemicelulosa.

La cuantificación de azúcares reductores ha sido ampliamente utilizada para evaluar la eficiencia de los pretratamientos aplicados a biomasa lignocelulósica. (Miller 1959) desarrolló el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), basado en la reducción del reactivo DNS por los azúcares reductores, formando un compuesto coloreado cuantificable espectrofotométricamente. Posteriormente, (Ghose, 1987) consolidó el uso de métodos espectrofotométricos para evaluar la hidrólisis de polisacáridos.

En cuanto a la caracterización estructural, la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) ha sido utilizada para identificar cambios químicos en biomasa lignocelulósica. (Pandey 1999) y Sun *et al*. 2004) identificaron bandas asociadas a lignina, celulosa y hemicelulosa, permitiendo evaluar modificaciones estructurales posteriores a tratamientos físicos y químicos. Además, (García Gómez *et al*. 2025) detectaron bandas en el rango de 897–918 cm^{-1} asociadas a enlaces β-glucosídicos en biomasa tratada con ultrasonido, evidenciando cambios estructurales relacionados con hemicelulosa.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente, los residuos agroindustriales no tienen una disposición final adecuada, y la mayoría termina siendo quemados o dejados en los campos lo que conduce a la liberación de gases de efecto invernadero. Por lo tanto, la investigación actual se ha centrado en encontrar alternativas para la eliminación de estos residuos mediante su utilización en la producción de sustancias industriales de valor agregado. Un residuo de este tipo es el rastrojo de amaranto, que al ser cultivado en regiones conurbadas contribuye a la contaminación ambiental en ciudades como Tlaxcala, Puebla, Ciudad y Estado de México.

Los componentes del rastrojo de amaranto podrían actuar como precursores de biorefinería para la producción de una amplia variedad de productos bioquímicos. Específicamente, la hemicelulosa, es un componente importante de los residuos de biomasa lignocelulósica, que ofrece muchas aplicaciones potenciales, como la generación de sustancias químicas con aplicaciones en agricultura, cosméticos, biomateriales, medicamentos, piensos y alimentos.

Por otro lado, la creciente demanda de nuevos productos alimenticios para problemas de bienestar y relacionados con la edad, junto con el aumento del gasto en atención médica, ha atraído la atención mundial hacia los prebióticos. En este sentido, los xilooligosacáridos (XOS) son una clase de oligosacáridos funcionales que han demostrado tener actividad prebiótica durante varias décadas. Los XOS tienen varias ventajas en relación con otras moléculas de oligosacáridos, como promover el desarrollo de las raíces como regulador de las plantas, como suplemento de azúcar para las personas y como prebióticos para promover la motilidad intestinal mejorando la salud.

Su utilización en la producción de sustancias de valor industrial, los residuos lignocelulósicos, deben ser sometidos a procesos de acondicionamiento; empezando por la adecuación de un pretratamiento que degrade eficazmente la lignocelulosa del material vegetal; durante ese procedimiento la co-producción de algunas sustancias podría ser observada.

Por lo tanto, en esta investigación se exploraron diversos métodos de pretratamiento para la deslignificación del rastrojo de amaranto, explorando la obtención de XOS a partir del pretratamiento con ultrasonido y del combinado (ultrasonido + NaOH) del rastrojo de amaranto. Esta estrategia contribuye a la sostenibilidad del cultivo con proyección a la activación de la economía circular en las comunidades que cultivan esta planta ancestral.

HIPÓTESIS

Durante el pretratamiento del rastrojo de amaranto utilizando ultrasonido o un método combinado (ultrasonido + NaOH) se lleva a cabo la deslignificación y la producción de XOS con diferentes grados de polimerización.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la producción de xilooligosacáridos durante el pretratamiento de rastrojo de amaranto

Objetivo Especifico

1) Realizar cinéticas de producción de azúcares reductores durante los pretratamientos del rastrojo de amaranto con ultrasonido y combinado (ultrasonido + NaOH).

2) Analizar la deslignificación del rastrojo de *Amaranthus hypocondriacus*, mediante Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier, después de los pretratamientos con ultrasonido y combinado (ultrasonido + NaOH).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

El rastrojo de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*) fue recolectado en parcelas ubicadas en el municipio de Santa Apolonia Teacalco, Tlaxcala, México (19.23884° N, 98.30945° O). Posteriormente, el material vegetal se secó al sol y se molió utilizando un molino agrícola hasta obtener harina de rastrojo de amaranto. La muestra fue tamizada con malla No. 40 para homogenizar el tamaño de partícula antes de los tratamientos experimentales.

Pretratamientos con ultrasonido

Ultrasonido (HRA + H_2O)

Se utilizó una suspensión de rastrojo de amaranto y agua destilada (1:20 p/v). El tratamiento se realizó con un procesador ultrasónico Cole Parmer modelo CPX 750, con una frecuencia de 20 kHz y una potencia nominal de 750 W. La sonda ultrasónica, de titanio y 1 cm de diámetro, se introdujo a 2 cm de profundidad para optimizar la propagación de las ondas ultrasónicas y minimizar las zonas muertas en el reactor (Subhedar et al., 2017).

Las condiciones de operación fueron 60 minutos de tratamiento, 100 W de potencia constante, 50 °C de temperatura, 75 % de amplitud y un ciclo de trabajo de 50 % (25 s encendido y 25 s apagado). Se tomaron muestras de 10 mL cada 5 minutos, las cuales fueron centrifugadas a 10 000 rpm durante 10 minutos a 25 °C. El sobrenadante obtenido se utilizó para determinar la concentración de azúcares reductores mediante el método DNS (Miller, 1959).

Ultrasonido con NaOH (HRA + NaOH)

Se preparó una suspensión 1:20 p/v utilizando NaOH 3.5 N y se empleó el mismo equipo bajo las mismas condiciones de operación. Durante los 60 minutos de tratamiento se recolectaron muestras de 10 mL cada 5 minutos, las cuales fueron centrifugadas a 10 000 rpm durante 10 minutos a 25 °C. El sobrenadante se utilizó para la determinación de azúcares reductores (Miller, 1959), mientras que el precipitado se destinó al análisis mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Cuantificación de azúcares reductores

La concentración de azúcares reductores se determinó mediante el método del ácido dinitrosalicílico (DNS) descrito por Miller (1959). Para el análisis, se mezcló 1 mL de sobrenadante con 1 mL de

reactivo DNS recién preparado. La mezcla se calentó a 100 °C durante 5 minutos hasta desarrollar una coloración rojo-marrón, posteriormente se enfrió durante 15 minutos y se añadieron 8 mL de agua destilada.

La absorbancia se midió a 546 nm frente a un blanco de reactivo y la concentración de azúcares reductores se calculó mediante una curva de calibración estándar de glucosa, construida a partir de concentraciones conocidas (Miller, 1959).

Las mediciones se realizaron durante diferentes tiempos de tratamiento con la finalidad de evaluar la cinética de liberación de azúcares reductores en los sistemas HRA + H_2O y HRA + NaOH.

La concentración de azúcares reductores obtenida a partir de la curva de calibración de xilosa fue analizada mediante ANOVA de una vía y prueba de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software Minitab 18.

Análisis por espectroscopía FTIR

Las muestras obtenidas se analizaron con el espectrómetro IR (DYNASCAN Modelo Spectrum 100, Perkin Elmer), el cual cuenta con el software IR solution y la metodología de transformada de Fourier (FTIR), que ofrece la relación señal/ruido para convertir las vibraciones en espectros. El análisis se realizó tomando 2 mg del precipitado de cada muestra. Los espectros se obtuvieron a una resolución de 4 cm-1, en un rango de 4000-550 cm-1 (García Gómez et al., 2025; Ramírez-Rodríguez, 2019).

Las concentraciones de azúcares reductores obtenidas a partir de la curva de calibración de xilosa fueron analizadas mediante un ANOVA de una vía utilizando el software Minitab 18, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar diferencias entre medias.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tiempos evaluados para ambos tratamientos. En el tratamiento con NaOH 3.5 N, el tiempo t7 presentó la media más alta (0.45535 mg/mL), mientras que t1 mostró la más baja (0.07307 mg/mL). En el tratamiento con H_2O, las mayores concentraciones se registraron en t9 (5.3031 mg/mL) y t10 (5.1475 mg/mL), mientras que t1 (0.1407 mg/mL) presentó el valor más bajo.

Al comparar ambos tratamientos, el análisis de Tukey indicó que H_2O (2.791 mg/mL) y NaOH (0.2497 mg/mL) pertenecen a grupos estadísticos diferentes (A y B), evidenciando diferencias significativas entre ellos. Asimismo, el ANOVA mostró un valor de $F = 37.59$ y un valor de $p = 0.000$, confirmando que el tipo de tratamiento tuvo un efecto significativo sobre la producción de azúcares reductores.

Este análisis demuestra que el tratamiento con ultrasonido en agua favoreció significativamente una mayor liberación de azúcares reductores en comparación con el tratamiento combinado ultrasonido + NaOH 3.5 N.

RESULTADOS

Cinética de producción de Azúcares reductores (HRA+H_2O, HRA+NaOH)

En el tratamiento con NaOH 3.5 N se observaron diferencias significativas de las concentraciones de azucares reductores entre los tiempos evaluados (Figura 1), destacando el t7 con la media más alta (0.45535 mg/mL), seguido de t4 (0.4249 mg/mL) y t6 (0.4147 mg/mL). En contraste, t1 (0.07307 mg/mL), t9 (0.11028 mg/mL) y t5 (0.1204 mg/mL) presentaron las medias más bajas.

En el tratamiento con H_2O también se detectaron diferencias significativas de las concentraciones de azucares reductores, siendo t9 en donde se presentó la mayor media (5.3031 mg/mL), seguido de t10 (5.1475 mg/mL) y t8 (4.7111 mg/mL), mientras que t3 (0.8241 mg/mL) y t1 (0.1407 mg/mL) mostraron los valores más bajos.

Al comparar ambos tratamientos, en el que se utilizó H_2O presentó una media significativamente mayor (2.791 mg/mL) en comparación con NaOH (0.2497 mg/mL), confirmándose diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba de Tukey.

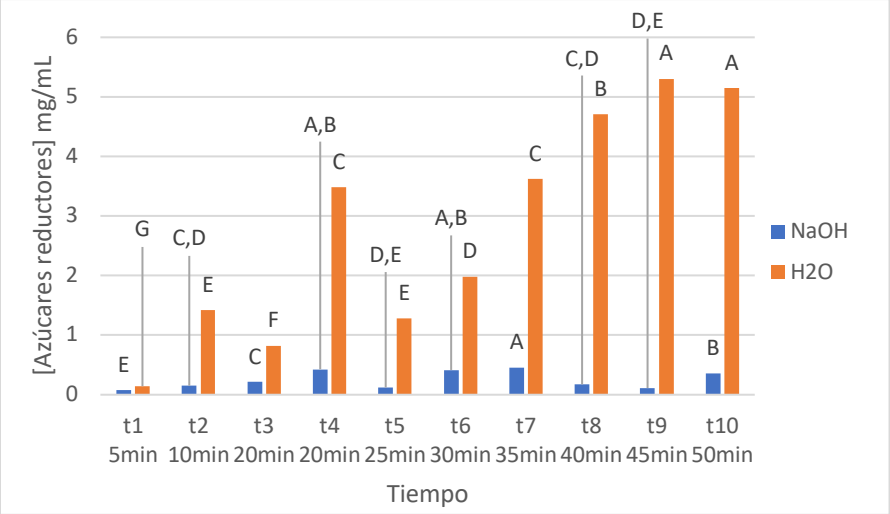


Figura 1. Comparación de la producción de azúcares reductores en NaOH y H_2O a diferentes tiempos de reacción.

El tratamiento con ultrasonido y agua presentó una mayor concentración de azúcares reductores que el tratamiento con NaOH 3.5 N, alcanzando sus valores máximos entre los 45 y 50 minutos. Este comportamiento puede atribuirse a la cavitación acústica generada por el ultrasonido, que favorece la ruptura parcial de la estructura lignocelulósica y la liberación de azúcares solubles (Kunaver et al., 2011; Gallego-García et al., 2022).

Aunque el tratamiento con NaOH mostró menores concentraciones de azúcares reductores, esto podría deberse a que el medio alcalino promueve principalmente la deslignificación y la formación de oligómeros de hemicelulosa, compuestos que no son detectados eficientemente mediante el método

DNS (Subhedar y Gogate, 2016). Por ello, este tratamiento podría estar favoreciendo la producción de xilooligosacáridos más que la liberación de monosacáridos.

Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) (HRA+H_2O, HRA+NaOH)

Los espectros FTIR del tratamiento HRA + H_2O mostraron una banda ancha en la región de 3600–3000 cm^{-1} asociada al estiramiento del grupo hidroxilo (O–H), característico de polisacáridos estructurales como celulosa y hemicelulosa, así como del H_2O adsorbida en biomasa lignocelulósica (Pandey, 1999; Poletto *et al*., 2014). La disminución ligera en la intensidad de esta banda conforme aumentó el tiempo de tratamiento sugiere procesos de deshidratación y reorganización de enlaces de hidrógeno.

En la región de 2920–2850 cm^{-1} se identificaron vibraciones de estiramiento C–H alifático relacionadas con carbohidratos y lignina, mientras que la banda cercana a 1650–1600 cm^{-1} se atribuyó a H_2O ligada y grupos carbonilo presentes en hemicelulosa (Kumar *et al.*, 2009; Sun & Cheng, 2002). Además, en la región de huella digital (1200–900 cm^{-1}) se observaron bandas intensas correspondientes a vibraciones C–O, C–O–C y C–C de polisacáridos, principalmente celulosa (Poletto *et al*., 2014).

Por otra parte, las señales entre 1500–1400 cm^{-1} asociadas a vibraciones aromáticas de lignina mostraron cambios mínimos, indicando que este componente permaneció prácticamente sin alteraciones después del tratamiento acuoso (Pandey, 1999). En conjunto, los resultados sugieren que el tratamiento HRA + H_2O produjo principalmente cambios físicos, como eliminación de humedad y compuestos solubles, sin modificar significativamente la estructura química de la biomasa lignocelulósica, comportamiento similar al reportado en tratamientos suaves con H_2O (Kumar *et al*., 2009; Sun & Cheng, 2002).

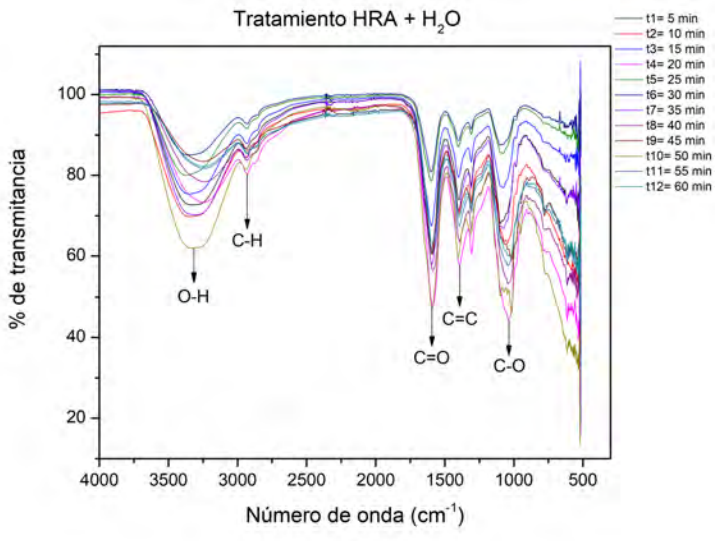


Figura 2. Espectros de IR del tratamiento HRA + H_2O

El espectro FTIR del tratamiento HRA + NaOH 3.5 N presentó modificaciones estructurales más evidentes en comparación con el tratamiento acuoso. La banda ancha ubicada en la región de 3600–3000 cm^{-1}, asociada al estiramiento del grupo hidroxilo (O–H), mostró una disminución importante en intensidad y cambios en su forma, lo que indica ruptura de enlaces de hidrógeno y alteraciones estructurales en los polisacáridos presentes en la biomasa lignocelulósica (Poletto et al., 2014). Asimismo, las variaciones observadas en la región de 2920–2850 cm^{-1} sugieren modificaciones en grupos C–H alifáticos asociados a cadenas orgánicas de carbohidratos y lignina (Kumar et al., 2009). Además, se observó una disminución en la intensidad de las bandas alrededor de 1600 cm^{-1} y 1500 cm^{-1}, relacionadas con estructuras aromáticas de lignina, lo que evidencia una remoción parcial de este componente durante el tratamiento alcalino (Sun & Cheng, 2002; Li et al., 2012). En la región de huella digital (1200–900 cm^{-1}) también se detectaron cambios significativos en bandas correspondientes a enlaces glucosídicos C–O–C de polisacáridos, indicando solubilización parcial de hemicelulosa y mayor exposición de la celulosa (Xu et al., 2013).

En conjunto, los resultados muestran que el tratamiento con NaOH provoca transformaciones químicas importantes en la matriz lignocelulósica del rastrojo de amaranto, favoreciendo la ruptura de enlaces entre lignina y carbohidratos, el hinchamiento de las fibras y la reducción del contenido lignínico. Estos cambios evidencian que el tratamiento alcalino fue más efectivo que el tratamiento con H_2O para modificar la estructura química de la biomasa (Kumar et al., 2009; Sun & Cheng, 2002).

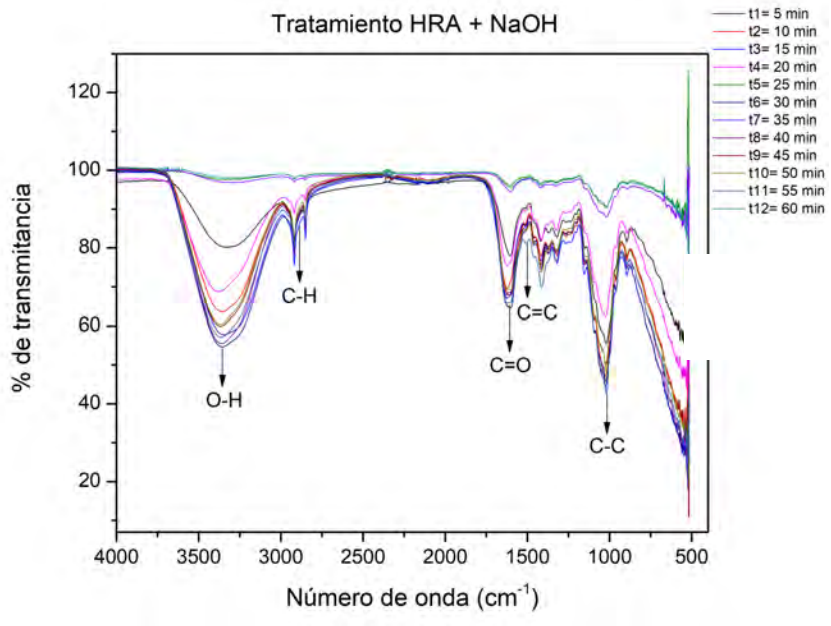


Figura 11 Espectro de IR del tratamiento HRA + NaOH 3.5N

Los espectros FTIR mostraron que el tratamiento con **agua** produjo cambios leves, conservando la mayoría de las bandas características de celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que indica modificaciones principalmente físicas de la biomasa.

En contraste, el tratamiento con **NaOH 3.5 N asistido por ultrasonido** presentó cambios más marcados, como la disminución de bandas asociadas a grupos hidroxilo y estructuras aromáticas de la lignina, evidenciando una mayor **deslignificación** y alteración de la matriz lignocelulósica. Estos resultados sugieren una mayor exposición de los carbohidratos estructurales y coinciden con estudios que reportan que la combinación de ultrasonido y NaOH favorece la degradación de lignina y la posible formación de xilooligosacáridos (Wu et al., 2017; García Gómez et al., 2025).

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos demostraron que los pretratamientos asistidos por ultrasonido generan cambios importantes en la biomasa lignocelulósica del rastrojo de amaranto, favoreciendo la liberación de azúcares reductores y modificaciones estructurales detectables mediante FTIR. La cuantificación de azúcares reductores evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, siendo el sistema con H_2O el que presentó las concentraciones más altas en comparación con NaOH, indicando una mayor liberación de carbohidratos solubles bajo las condiciones estudiadas.

El análisis por FTIR confirmó alteraciones en bandas asociadas a lignina, hemicelulosa y celulosa después de los tratamientos. En el tratamiento con H_2O predominó la eliminación de humedad y cambios físicos menores, mientras que el tratamiento con NaOH produjo modificaciones químicas más profundas, incluyendo disminución de señales relacionadas con lignina y alteraciones en enlaces glucosídicos de polisacáridos. Estos cambios sugieren procesos de deslignificación y exposición de componentes estructurales de la biomasa.

En conjunto, los resultados indican que los tratamientos con ultrasonido y ultrasonido + NaOH representan estrategias efectivas para modificar la estructura lignocelulósica del rastrojo de amaranto y favorecer la liberación de carbohidratos de interés biotecnológico, evidenciando el potencial de este residuo agrícola como materia prima para procesos de valorización.

REFERENCIAS

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2016). Ultrasound assisted extraction of food and natural products: Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. *Ultrasonics Sonochemistry, 34*, 540–560.

García Gómez, M. J., et al. (2025). *Análisis FTIR y producción de azúcares reductores en rastrojo de amaranto tratado con ultrasonido y NaOH*.

Ghose, T. K. (1987). Measurement of cellulase activities. *Pure and Applied Chemistry, 59*(2), 257–268.

Grande, C. (2020). *Métodos espectrofotométricos aplicados al análisis de carbohidratos*.

Kim, J. S., Lee, Y. Y., & Kim, T. H. (2015). A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology, 199*, 42–48.

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 48*(8), 3713–3729.

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2016). Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 48*(8), 3713–3729.

Kunaver, M., Jasiukaitytė, E., & Čuk, N. (2011). Ultrasonically assisted liquefaction of lignocellulosic materials. *Bioresource Technology, 103*(1), 360–366.

Li, X., Cai, Z., Winandy, J. E., & Basta, A. H. (2012). Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries. *Bioresource Technology, 101*(12), 4662–4666.

Mason, T. J., Lorimer, J. P., Bates, D. M., & Zhao, Y. (1994). Dosimetry in sonochemistry: The use of aqueous terephthalate ion as a fluorescence monitor. *Ultrasonics Sonochemistry, 1*(2), S91–S95.

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry, 31*(3), 426–428.

Pandey, K. K. (1999). A study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. *Journal of Applied Polymer Science, 71*(12), 1969–1975.

Poletto, M., Pistor, V., & Zattera, A. J. (2014). *Structural characteristics and thermal properties of native cellulose*. *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*.

Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2015). Exploitation of food industry waste for high-value products. *Trends in Biotechnology, 34*(1), 58–69.

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología, 16*(2), 14–46.

Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (2nd ed.). CRC Press.

Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons.

Subhedar, P. B., & Gogate, P. R. (2016). Intensification of delignification and subsequent hydrolysis for the sugar production from biomass using ultrasound assisted alkali pretreatment. *Ultrasonics Sonochemistry, 29*, 67–75.

Sun, J., Xu, F., Sun, X., Sun, R., & Fowler, P. (2004). Comparative study of organosolv lignins from wheat straw. *Polymer Degradation and Stability, 84*(2), 331–339.

Sun, R. C., Tomkinson, J., Ma, P. L., & Liang, S. F. (2001). Comparative study of hemicelluloses from rice straw by alkali and hydrogen peroxide treatments. *Carbohydrate Polymers, 42*(2), 111–122.

Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology, 83*(1), 1–11.

Suslick, K. S. (1990). Sonochemistry. *Science, 247*(4949), 1439–1445.

Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *Trends in Analytical Chemistry, 71*, 100–109.

Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., & Wang, D. (2013). Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini-review. *Applied Energy, 104*, 801–809.

GESTIÓN DEL RIESGO Y CONTINUIDAD OPERATIVA: ESTUDIO DE CASO EN INNOVATEC 2026 DEL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO – VERACRUZ

Jesús Javier Saucedo Cisneros[1]
Nora Lucía García Castañeda[2]
Eucalit Sánchez García[3]

RESUMEN

El estudio de caso del **Innovatec 2026** del Tecnológico Nacional de México – Veracruz analiza la aplicación de un enfoque de Gestión Integral de Riesgos ante una contingencia operativa crítica: la falla del sistema de aire acondicionado en el área destinada para la instalación de los stands de exhibición de proyectos. Previamente, el comité organizador había desarrollado actividades de Identificación, Evaluación y Prevención de Riesgos, orientadas a fortalecer la capacidad de respuesta institucional y garantizar la continuidad operativa del evento. Sin embargo, la incidencia presentada comprometió las condiciones de confort, seguridad y funcionalidad del espacio, haciendo necesario replantear la logística de distribución y la ubicación de los proyectos participantes.

Desde la perspectiva del Sistema de Gestión de la Calidad, el caso evidencia la importancia de identificar y definir tanto los objetivos, metas e indicadores de la institución como responsables directamente involucrados en el proceso de gestión de riesgos. La respuesta se enfocó en la evaluación inmediata del impacto, la habilitación de espacios alternativos y la coordinación estratégica entre las áreas, garantizando la continuidad del evento.

El análisis demuestra que la Gestión Integral de Riesgos fortalece la tenacidad operativa de los equipos de trabajo y la capacidad de adaptación ante escenarios imprevistos.

Palabras claves: Gestión, Riesgos, Innovatec 2026 y Calidad

INTRODUCCIÓN

En el entorno del Tecnológico Nacional de México - Veracruz, el cual enfrenta una alta competitividad y cambios constantes de las condiciones ambientales; la gestión de riesgos se ha convertido en un elemento fundamental para garantizar la seguridad y el cumplimiento de los objetivos institucionales, de igual manera enfrenta diariamente situaciones relacionadas con factores tecnológicos, de

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. jesus.sc@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. nora.gc@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz

seguridad, operativos y humanos, por lo que resulta indispensable implementar mecanismos que permitan identificar, evaluar y controlar dichas situaciones antes de que generen impactos que impidan el desarrollo continuo de un evento.

La gestión de riesgos no solamente busca prevenir, sino también fortalecer la capacidad de respuesta y adaptación frente a escenarios no predecibles. En este sentido, el análisis de riesgos representa una herramienta estratégica que facilita la toma de decisiones mediante la evaluación sistemática de amenazas potenciales y sus posibles consecuencias.

De acuerdo con la International Organization for Standardization, a través de la norma ISO 31000:2018, el riesgo puede definirse como “el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos”, lo cual implica que cualquier evento incierto puede influir positiva o negativamente en el desempeño organizacional. Por lo anterior, es necesario considerar todos los riesgos potenciales negativos que pueden impactar de manera significativa en el evento, especialmente cuando existe una alta afluencia de personas en un sitio con poco espacio para desempeñar sus actividades.

MARCO TEÓRICO

Riesgo y su importancia

El concepto de riesgo, según la Project Management Institute, corresponde a “un evento o condición incierta que, si ocurre, tiene un efecto positivo o negativo sobre uno o más objetivos del proyecto”. Esta perspectiva considera la incertidumbre como un factor central dentro de la gestión organizacional y reconoce que los riesgos pueden representar tanto amenazas como oportunidades.

La importancia del análisis de riesgos radica en su capacidad para anticipar posibles problemas antes de que ocurran. A través de este proceso, las organizaciones pueden establecer medidas preventivas, reducir pérdidas económicas y fortalecer sus procesos internos. Asimismo, una adecuada gestión de riesgos contribuye a mejorar la toma de decisiones estratégicas, optimizar recursos y garantizar la continuidad operativa.

Así también; según la norma International Organization for Standardization, la gestión del riesgo consiste en: “Actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto al riesgo” (ISO 31000:2018).

El análisis de riesgos también favorece el control y cumplimiento de las actividades. Para el Tecnológico Nacional de México – Veracruz es una prioridad realizar eventos académicos bajo el esquema de control de riesgos.

Proceso de gestión y análisis de riesgos

La gestión de riesgos se desarrolla mediante un proceso sistemático orientado a identificar, analizar, evaluar y controlar amenazas potenciales. Diversos modelos internacionales coinciden en que este proceso debe ejecutarse de manera continua y adaptarse al contexto específico de cada organización (ISO, 2018).

La primera etapa corresponde a la identificación de riesgos, cuyo propósito es detectar situaciones o eventos que puedan afectar el cumplimiento de objetivos. Esta identificación puede realizarse mediante herramientas como entrevistas, análisis documental, observación directa, revisión histórica y sesiones de lluvia de ideas (PMI, 2021).

Posteriormente se desarrolla el análisis de riesgos, etapa en la cual se evalúan tanto la probabilidad de ocurrencia como el impacto potencial de cada riesgo identificado. El análisis puede abordarse desde una perspectiva cualitativa o cuantitativa. El enfoque cualitativo clasifica los riesgos en categorías descriptivas como bajo, medio o alto, mientras que el análisis cuantitativo utiliza métodos estadísticos y matemáticos para estimar niveles específicos de exposición y posibles pérdidas (Hillson, 2017).

La evaluación de riesgos permite determinar cuáles amenazas requieren atención prioritaria. Para ello, frecuentemente se emplea la relación entre probabilidad e impacto, representada mediante la siguiente expresión:

Riesgo = Probabilidad \times Impacto

Este modelo facilita la jerarquización de riesgos y sirve como base para la elaboración de matrices de evaluación (ISO, 2018).

Una vez evaluados los riesgos, la organización debe definir estrategias de tratamiento o respuesta. Entre las principales alternativas se encuentran evitar el riesgo, mitigar sus efectos, transferirlo a terceros o aceptarlo cuando su nivel de impacto resulte tolerable (ISO, 2018). La elección de la estrategia dependerá de los recursos disponibles, el contexto operativo y el nivel de tolerancia institucional.

Finalmente, el monitoreo y control constituyen una fase permanente dentro de la gestión de riesgos. Debido a que las condiciones organizacionales cambian continuamente, los riesgos deben revisarse periódicamente para identificar variaciones, verificar la efectividad de los controles implementados y detectar nuevas amenazas emergentes (PMI, 2021).

MARCO NORMATIVO

Normativas y modelos internacionales de gestión de riesgos

La creciente importancia de la gestión de riesgos ha impulsado el desarrollo de estándares y modelos internacionales orientados a proporcionar lineamientos metodológicos para su implementación.

Uno de los principales referentes es la norma ISO 31000:2018, desarrollada por la International Organization for Standardization, la cual establece principios y directrices aplicables a cualquier tipo de organización. Esta norma promueve un enfoque integral basado en la mejora continua, la integración organizacional y la adaptación al contexto institucional.

Otro modelo ampliamente reconocido es COSO ERM (Enterprise Risk Management), elaborado por la Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. Este enfoque relaciona la gestión de riesgos con la estrategia empresarial, el control interno y el desempeño organizacional, permitiendo fortalecer la gobernanza corporativa y la capacidad de supervisión institucional.

Ambos modelos coinciden en la necesidad de incorporar la gestión de riesgos como parte fundamental de la cultura organizacional y no únicamente como una actividad aislada de control.

Gestión de riesgos del Tecnológico Nacional de México – Veracruz

Como parte del Sistema de Gestión de la Calidad del Tecnológico Nacional de México – Veracruz, dentro del proceso de Calidad existe un procedimiento denominado Gestión de Riesgos (ITV-CA-PG-006). El cual tiene como propósito: Definir las normas y procedimientos que rigen la gestión de riesgos, asociados a los objetivos del Servicio Educativo en el Instituto Tecnológico de Veracruz; desde su identificación hasta el seguimiento de los planes de acción definidos para el cumplimiento legal, reglamentario y de normas internacionales.

Este procedimiento permite ser la guía para la elaboración de una Identificación, evaluación y calificación de riesgos. Para integrar la Gestión de Riesgos en los Sistemas de Gestión es importante evaluar y entender el contexto externo e interno de la institución, y la identificación de las partes interesadas.

Una vez definido el contexto, se determinan los riesgos, empezando por su identificación, y se clasifican de acuerdo a lo siguiente: Nivel de Decisión del Riesgo: Estratégico, Directivo y Operativo, Tipos de Riesgos: Administrativo, Seguridad, Obra pública, Salud, Presupuestales, TIC’S, Servicio, Sustantivos, Legales, Financieros.

El análisis de riesgos implica la consideración de las causas (factores), consecuencias (impacto) y probabilidad de que esas consecuencias puedan ocurrir.

Tabla 1. Tabla de Ponderaciones para la Valoración de Riesgos

Tabla de Ponderaciones para la Valoración de Riesgos					
Probabilidad de Ocurrencia			Grado de impacto		
10	Recurrente	Probabilidad de ocurrencia Muy Alta	10	Catastrófico	Influye directamente en el cumplimiento de la misión, perdida patrimonial incumplimientos normativos, problemas operativos o de impacto ambiental o deterioro de la imagen, dejando además sin funcionar totalmente o por un periodo importante de tiempo los programas o servicios que entrega la institución.
9			9		
8	Probable	Probabilidad de ocurrencia Alta	8	Grave	Dañaría significativamente el patrimonio, incumplimientos normativos, problemas operativos o impacto ambiental o deterioro de la imagen o logro de objetivos institucionales. Además se referiría una cantidad importante de tiempo de la alta dirección en investigar y corregir los daños.
7			7		
6	Posible	Probabilidad de ocurrencia Media	6	Serio	Causaría, ya sea una pérdida importante en el patrimonio, incumplimientos normativos, problemas operativos o de impacto ambiental o un deterioro significativo de la imagen. Además se referiría una cantidad importante de tiempo de la alta dirección en investigar y corregir los daños.
5			5		
4	Inusual	Probabilidad de ocurrencia Baja	4	Moderado	Causa un daño en el patrimonio o imagen, que se puede corregir en el corto tiempo, y no afecta el cumplimiento de los objetivos estratégicos.
3			3		
2	Remota	Probabilidad de ocurrencia Muy Baja	2	Insignificante	Riesgo que puede tener un pequeño o nulo efecto en la institución.
1			1		

Fuente: Procedimiento de Gestión de Riesgos, Abril 2018.

El análisis de riesgos implica la consideración de las causas (factores), consecuencias (impacto) y probabilidad de que esas consecuencias puedan ocurrir. Los riesgos deben evaluarse en una escala de valor de 1 al 10, sin considerar los controles existentes para administrar el riesgo, como lo muestra la tabla 1.

La valoración final de riesgos respecto a controles, se realizará conforme a lo siguiente:

Se dará valor final al impacto y probabilidad de ocurrencia del riesgo con la confronta de los resultados de las etapas de evaluación de riesgos y de controles. Para lo anterior, la Institución considerará que si el riesgo está controlado suficientemente la valoración del riesgo pasa a alguna escala inferior, de lo contrario, se mantiene el resultado de la valoración inicial del riesgo antes de haber establecido los controles.

La valoración final del riesgo nunca podrá ser superior a la Valoración Inicial. Si algunos de los controles del riesgo son deficientes, o se observa inexistencia. No será válida la valoración final, cuando no considere la Valoración Inicial, la existencia de controles y la evaluación de controles. (Procedimiento de Gestión de Riesgos, Abril 2018).

Condiciones Ambientales: Externas e Internas

Condiciones Ambientales Externas.

Contextualización: Condiciones climáticas en la zona conurbada Veracruz – Boca del Rio

Del dia lunes 11 al martes 19 de mayo de 2026, el puerto de Veracruz presentó condiciones climáticas variables influenciadas por el ingreso del frente frío número 50 y posteriormente por una intensa ola de calor que afectó gran parte del estado. Durante los primeros días del periodo antes mencionado,

se registraron lluvias moderadas, incremento de nubosidad y vientos del norte con rachas de hasta 60 km/h, provocando una ligera disminución de temperatura y oleaje elevado en la zona costera (Secretaría de Protección Civil de Veracruz – Informe Meteorológico 19 de mayo de 2026). Las temperaturas máximas oscilaron entre los 34 °C y 37 °C en la zona conurbada Veracruz–Boca del Río, acompañadas de altos índices de humedad relativa que incrementaron considerablemente la sensación térmica. Autoridades meteorológicas estatales emitieron recomendaciones preventivas debido al riesgo de golpes de calor y afectaciones derivadas de las condiciones atmosféricas extremas. (Secretaría de Protección Civil de Veracruz – Informe Meteorológico 19 de mayo de 2026). Sin embargo, se tenia el antecedente de que el día miércoles 6 de mayo del mismo año, se registró una temperatura de 53 grados Celsius, de sensación térmica, siendo este el máximo histórico en este rubro (Imagen 1).

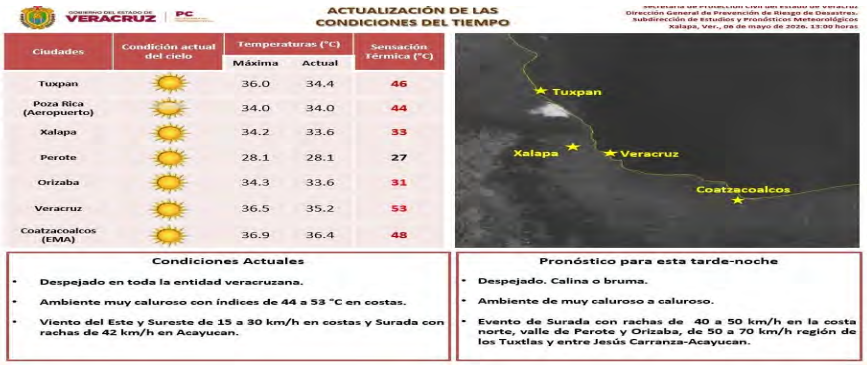


Imagen 1. Sensación térmica histórica 53 grados.

Fuente: Protección civil del estado de Veracruz

Asimismo, hacia el 18 y 19 de mayo se intensificó la ola de calor en el puerto de Veracruz, registrándose un ambiente predominantemente seco, escasa probabilidad de lluvias y sensación térmica elevada por la combinación de temperatura y humedad costera. De acuerdo con los pronósticos de la Secretaría de Protección Civil del estado, el viento predominó del este y sureste con velocidades de 20 a 35 km/h, mientras que la temperatura máxima alcanzó valores cercanos a los 36 grados Celsius, en la zona costera central (e-Veracruz).

Condiciones Ambientales Internas.

Contextualización: Domo del Centro de Información del Tecnológico Nacional de México – Veracruz

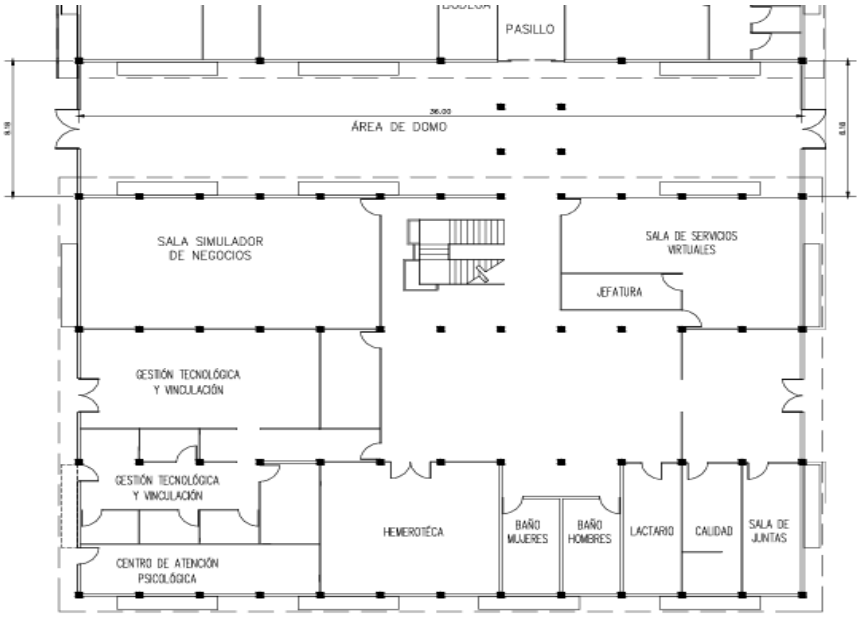
En el centro de información, del Tecnológico Nacional de México – Veracruz, se encuentra el Domo, el cual está habilitado para hacer presentaciones o exposiciones de proyectos con 30 espacios, con una dimensión de 2.70 m^2 cada uno. La dimensión total del Domo es de: 36 metros de largo por 8.18 metros de ancho (Imágenes 2 y 3) (Plano 1).





Imágenes 2 y 3. Domo del Centro de Información.

Fuente: Propia



Plano 1. Planta Baja Edificio “O”

Fuente: Instituto Tecnológico de Veracruz

En uno de los espacios dentro del mismo Domo, se encuentra el centro de carga eléctrica el cual permite encender/apagar los aires acondicionados (Imagenes 6 y 7), estos tienen las siguientes características: Equipos de paquete marca Trane, Capacidad 12.5 toneladas, Capacidad de enfriamiento 151,000 btu/hr, Eficiencia energética standar 11.0 y Voltaje 220 trifásico, los cuales brindan una suficiencia de confort para el espacio correspondiente. (Imágenes 4 y 5).





Imágenes 4 y 5. Aires Acondicionados del Domo.
Fuente Propia

Condiciones de Instalaciones de espacio

Los espacios cumplen con los requisitos mínimos necesarios para realizar cualquier tipo de evento en el que involucre presentaciones o exposiciones de proyectos, especialmente para el INNOVATECNM, el cual se lleva a cabo de manera local cada año, y permite hacer estas actividades sin la necesidad de contratar a proveedores externos para el diseño de espacios y con ello se optimizan recursos para otros eventos académicos.

Para el INNOVATECNM 2026, los registros de participación fueron de 22 proyectos en 7 categorías diferentes, Sector Agroindustrial, Sector Energético y Electromovilidad, Tecnologías para la Salud Humana, Industria Eléctrica y Electrónica, Bienes de Consumo Ambiental, Innobótica y Sostenibilidad Ambiental, con mas de 120 alumnos inscritos y todos con un espacio asignado para su presentación correspondiente.

Con toda la información actualizada, el Domo del Centro de Información cumple con las condiciones ideales de confort y seguridad correspondiente, para llevar a cabo el INNOVATEC 2026, sin embargo, por las dimensiones del evento, era necesario efectuar un análisis de Gestión de Riesgos basado en el Procedimiento declarado (ITV-CA-PG-006), en el Sistema de Gestión del Calidad de Tecnológico Nacional de México – Veracruz, a través del formato de Identificación, evaluación y calificación de riesgos (ITV-CA-PG-006-01), Anexo 1, como una medida preventiva contra riesgos negativos que pudieran ocurrir.

Condiciones de Instalaciones eléctricas

Las 100 lámparas todas con focos leds, los 30 contactos habilitados en cada uno de los espacios habilitados y la carga correspondiente para los aires acondicionados, funcionaban correctamente en la revisión que se realizó una semana antes previa al evento. (Imagen 2 Y 3).

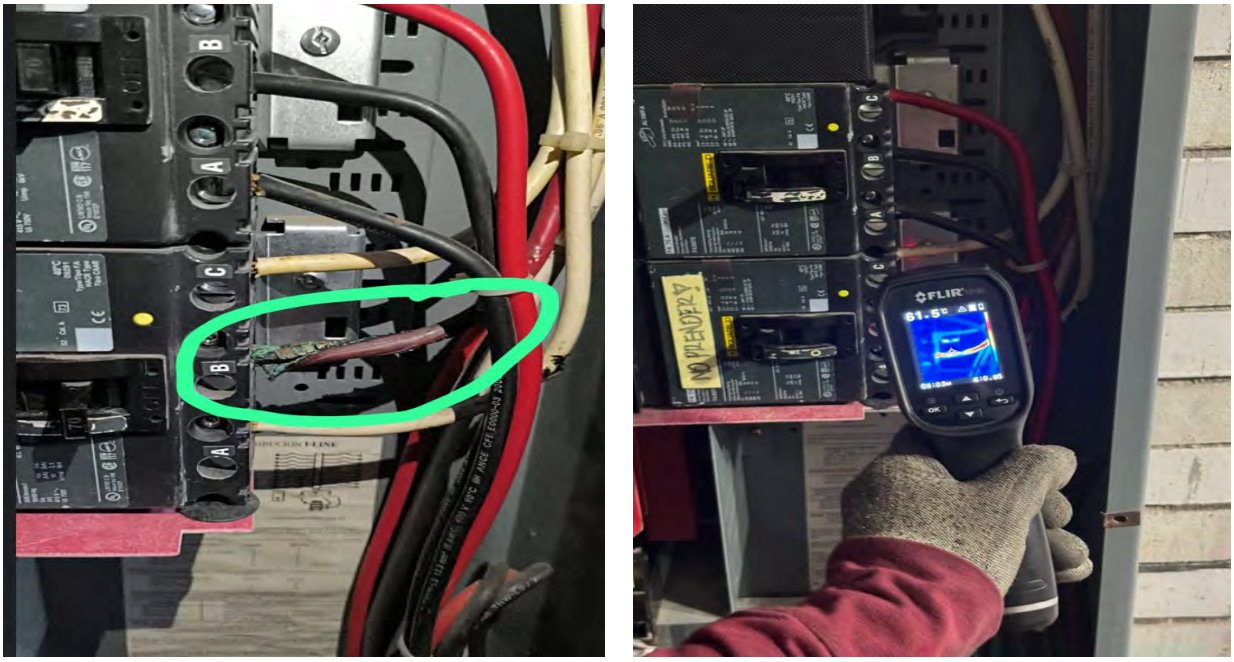
Crónica de la Problemática: Descripción de la situación

Miércoles 13 de mayo de 2026

En reunión celebrada con los departamentos involucrados en la logística administrativa y operativa, el día miércoles 13 de mayo del 2026, con la finalidad de dar seguimiento a los pormenores del evento

de INNOVATECNM 2026, el departamento de mantenimiento y equipo, con su grupo de expertos, previa revisión del centro de carga antes de la reunión, detectan que la fase de unos de los aires acondicionados del Domo, ya no estaba debidamente aislada (Imagen 6), lo cual provocaba un **riesgo eminente** de incendio en el centro de carga, esto generaría un situación de pánico en los asistentes al evento. La carga en grados Celsius de la fase aun estando apagado marcaba 61.5 en la cámara termográfica (Imagen 7). Realizaron una prueba con los equipos de aire acondicionado encendidos y con el Domo sin concurrencia, marcando, 80 grados Celsius; ante esta situación se determinó cambiar de sede. Con el evento próximo a realizarse, se analizaron los lugares posibles dentro de la institución en donde podría realizarse el evento.

Imágenes: Cable sin aislamiento y Cámara Termográfica

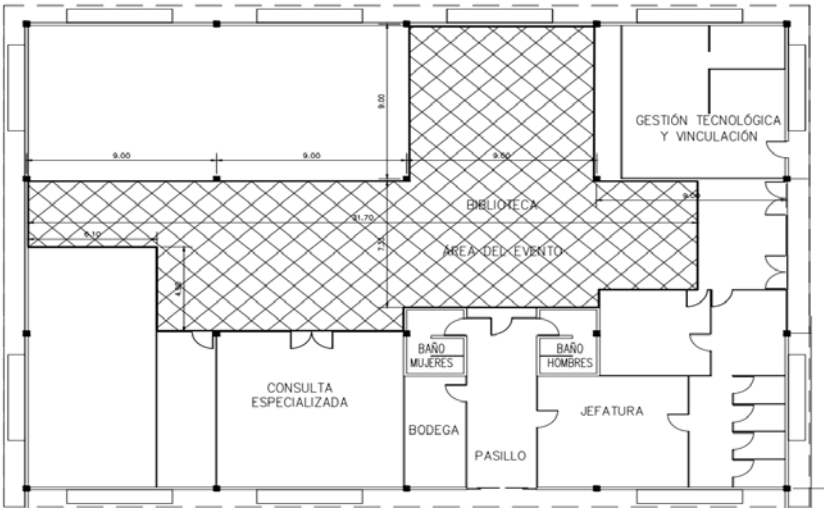


Imágenes: Cable sin aislamiento y Cámara Termográfica

Fuente: Propia

Jueves 14 de mayo de 2026

Se hace el recorrido por las instalaciones del edificio X (Mecatrónica), W (Industrial), U (Sistemas Computacionales) y O (Biblioteca), determinándose que el edificio O tiene las características y condiciones más viables para llevar a cabo el evento de INNOVATECNM 2026 (Plano 2). Una vez definido el espacio se les informa a los departamentos involucrados que se deben habilitar las condiciones de espacios para la instalación de los proyectos (22) con mamparas prediseñadas y habilitar conexión eléctrica para cada uno de ellos.



Plano 2. Dimensiones del área de evento en el Centro de Información.

Fuente Instituto Tecnológico de Veracruz

Se convoca a la Brigada de Protección Civil para verificar todos los requerimientos de seguridad como lo son: señalética, rutas de evacuación, salidas de emergencia, extintores, disposición de primeros auxilios y brigadistas.

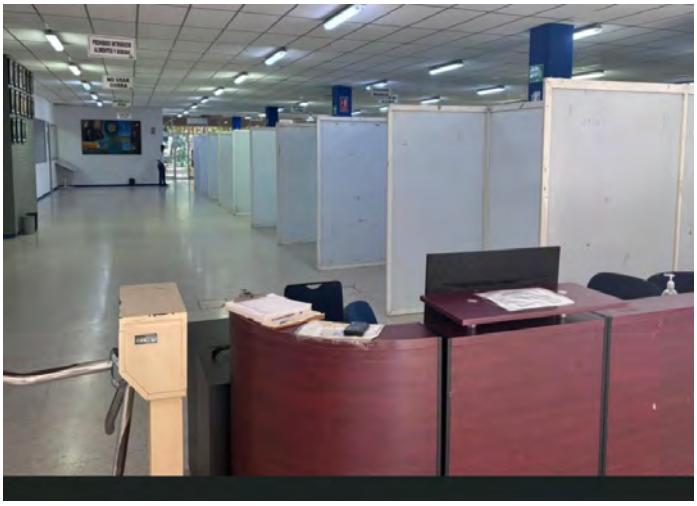


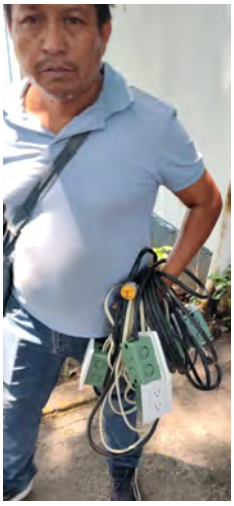
Imágenes 8 y 9. Revisión de Extintores e Instalación de dispensadores de agua

Fuente: Propia

Lunes 18 y martes 19 de mayo de 2026

Se inician los trabajos correspondientes del diseño, acondicionamiento e instalación de espacios (mamparas), así como también los requerimientos eléctricos para cada uno de ellos. Estos trabajos se concluyeron en tiempo y forma, con todas las condiciones planeadas y previstas para poder realizar el evento. (Imágenes 10 y 11).





Imágenes 10 y 11. Instalación de espacios y extensiones listas para instalarse.

Fuente: Propia

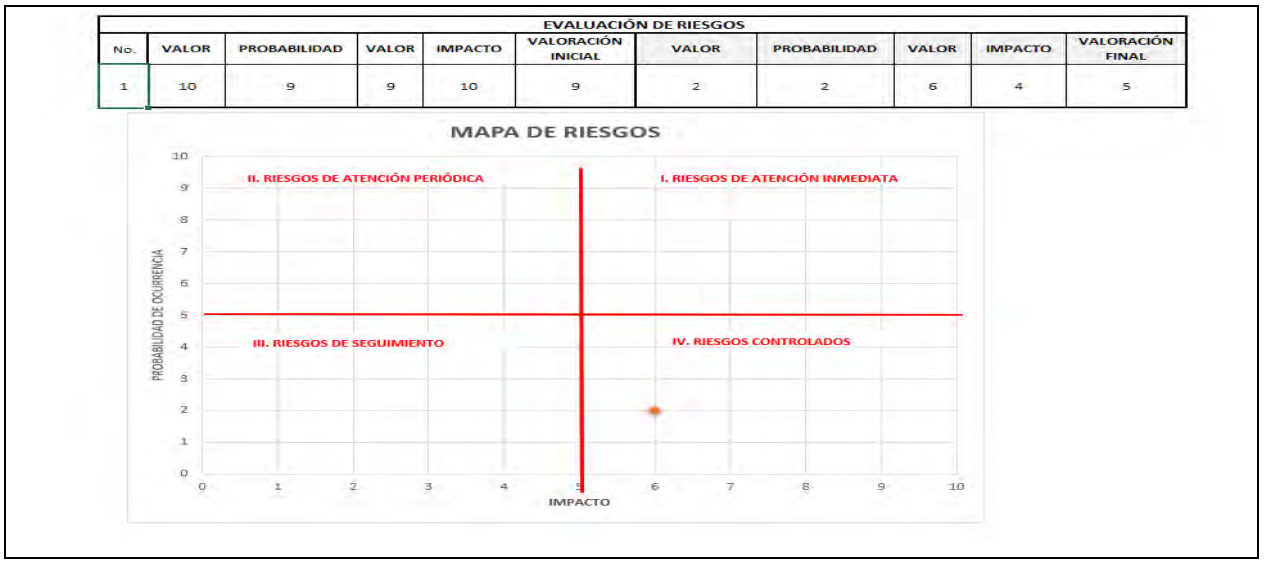
Miércoles 20 de mayo de 2026

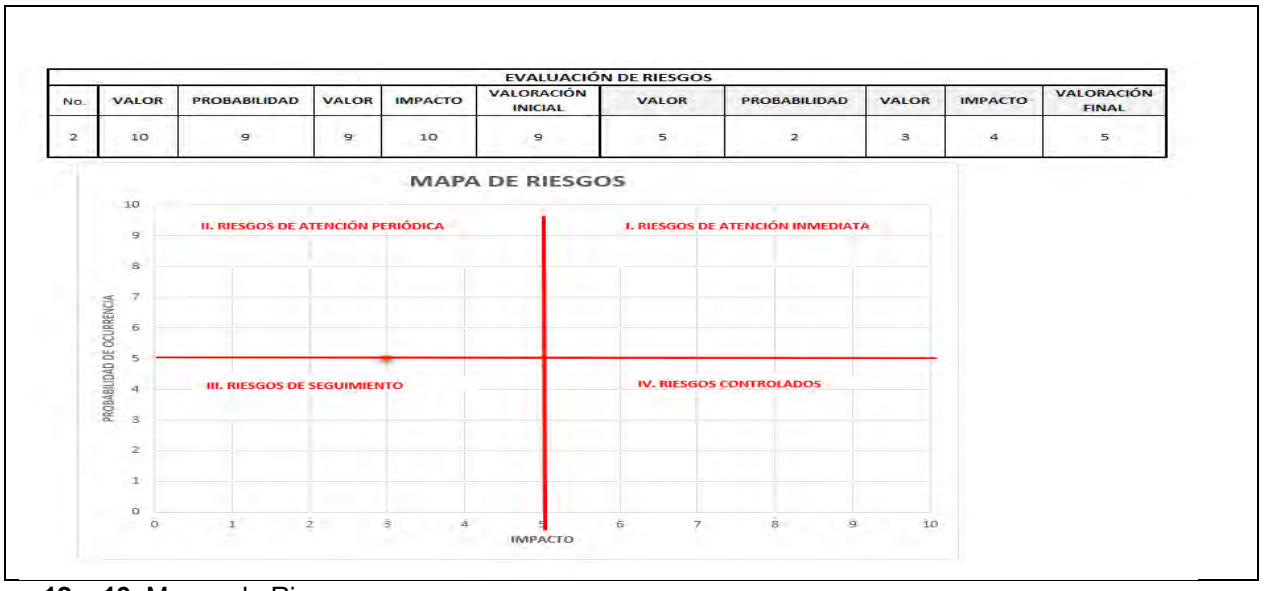
Antes de dar inicio a la inauguración del evento el Coordinador de la Brigada de Protección Civil de la Institución dio el mensaje a todas y todos los asistentes, para informar los detalles que debían seguirse ante cualquier situación de emergencia para salvaguardar su integridad (señalética, rutas de evacuación, salidas de emergencia, extintores, disposición de primeros auxilios y brigadistas), de igual manera, se recordó a la comunidad que la Institución está certificada como una instalación de la Iniciativa 100% Libre de Plástico de un Solo Uso.

RESULTADOS.

El evento se llevo a cabo satisfactoriamente, cumpliéndose todo el protocolo y desarrollo de las exposiciones de cada uno de los proyectos, sin contar con incidencia alguna. El equipo de primeros auxilios estuvo disponible de 8:00 a 20:00 horas, desde el inicio de instalación de proyectos hasta concluir con el levantamiento de equipos de cada proyecto. Se colocaron los extintores necesarios para el evento (Plano C) y se dispuso de dispensadores de agua para el consumo de todos los participantes y visitantes del evento. El mapa de riesgos correspondiente a no contar con el espacio suficiente para una distribución adecuada, lo que podría generar problemas de movilidad, incumplimiento de medidas de seguridad y saturación de asistentes (Imagen 12), indica la probabilidad de ocurrencia BAJA (INUSUAL) y el impacto MODERADO, ya que causa un daño en el patrimonio que puede corregir en el corto tiempo y no afecta el cumplimiento de los objetivos estratégicos, desplegándose en el cuadrante de **riesgos controlados**.

Con respecto al condición insegura derivada del deterioro, sobrecarga o falta de mantenimiento de la instalación eléctrica que puede provocar cortocircuito, sobrecalentamiento y con ello incendio o paro de operaciones (Imagen 13), indica la probabilidad de ocurrencia POSIBLE (MEDIA) y el impacto SERIO, ya que causaría, ya sea una pérdida importante en el patrimonio, incumplimientos normativos, problemas operativos o de impacto ambiental o un deterioro significativo de la imagen. Además, se referiría a una cantidad importante de tiempo de la alta dirección en investigar y corregir los daños, desplegándose entre el cuadrante de **riesgos de seguimiento y riesgos de atención periódica.**





Imágenes 12 y 13. Mapas de Riesgos

Fuente: Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gestión del riesgo permitió evitar un **siniestro (incendio) eminente** en el centro de carga, que hubiera generado una situación de pánico en los asistentes al evento y posibles accidentes, aunque se contaba con el equipo de auxilio y brigadas para atenderlos, lo más importante es la prevención y eliminación del riesgo.

Las calificaciones asignadas en los mapas de riesgos, confirman que las acciones implementadas para el caso del evento de INNOVATECNM 2026, funcionaron de manera favorable evitando un riesgo mayor que hubiera causado una situación de perdida de patrimonio.

Los instrumentos generados en el Procedimiento de Gestión de Riesgos del Sistema de Gestión de la Calidad son funcionales y su Identificación, evaluación y calificación de riesgos permiten el logro de los objetivos institucionales.

Se recomienda aplicar el Procedimiento de Mantenimiento y Servicios Programados (ITV-AD-PO-001), en todas las instalaciones de la Institución de manera semestral, verificando centros de carga, tornillería floja, herrajes en buenas condiciones así como el cableado correspondiente.

Referencias

Chapman, C., & Ward, S. (2011). How to Manage Project Opportunity and Risk. Wiley.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. (2017). Enterprise Risk Management Framework.

e-veracruz.mx – Clima en Veracruz: temperaturas de hasta 42 °C este 19 de mayo](https://e-veracruz.mx/nota/2026-05-18/estado/clima-en-veracruz-temperaturas-de-hasta-42-degc-este-19-de-mayo?utm_source=chatgpt.com) temperaturas de hasta 42 °C este 19 de mayo | e-veracruz.mx"

Hillson, D. (2017). Practical Project Risk Management. Management Conce

Hopkin, P. (2018). Fundamentals of Risk Management. Kogan Page.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 Risk Management Guidelines.

ISO 31000:2018 Risk management guidelines

Meteorologico_11052026.pdf?utm_source=chatgpt.com)

Procedimiento de Gestión de Riesgos, Abril 2018

Project Management Institute. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 7th ed.

Secretaría de Protección Civil de Veracruz – Informe Meteorológico 19 de mayo de 2026](https://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/5/2026/05/Informe

ANEXO 1

Anexo 1. Registro de Identificación, evaluación y calificación de riesgos

Identificación, evaluación y calificación de riesgos	ITV-CA-PG-006-01 Revisión 1	Instituto Tecnológico de Veracruz

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE:	VERACRUZ

PROCESO	OBJETIVO	META O ESTRATEGIA	No.	RIESGO	RESPONSIBLE	NIVEL DE DECISIÓN	FACTORES DE RIESGO (CAUSAS)	EFECTOS (IMPACTO)	PARTES INTERESADAS
CALIDAD	Gestionar la calidad para lograr la satisfaccion del estudiante	Realizar el evento de Innovatec 2026 de acuerdo a las normas de protección civil	1	Afectaciones de confort, seguridad y funcionalidad del espacio para los participantes durante el evento de INNOVATECNM 2026, derivado de las altas temperaturas, posible insuficiencia o falla de los equipos de aire acondicionado y sobrecalentamiento en las fases del cableado electrico.	M.A. Nora Lucia Garcia Castañeda	Estrategico	No contar con el espacio suficiente para una distribución adecuada, lo que podría generar problemas de movilidad, incumplimiento de medidas de seguridad y saturación de asistentes	Alta afluencia al evento	Docentes, Estudiantes y Personal de Apoyo
							Condición insegura derivada del deterioro, sobrecarga o falta de mantenimiento de la instalación eléctrica que puede provocar cortocircuito, sobrecalentamiento y con ello incendio o paro de	Incendio (centro de carga), en el area de exposicion de proyectos	

VALORACIÓN DE LOS CONTROLE			PLAN DE ACCIÓN				
EXISTE UN CONTROL INTERNO:	DESCRIPCIÓN DEL CONTROL	TIPO	No.	ACCIÓN REQUERIDA	RESPONSIBLE	FECHA DE TÉRMINO	EVIDENCIA DE LA EFICACIA DE LA ACCIÓN
Si	Brigada de Proteccion Civil	Preventivo	1	Verificacion de todos los requerimientos de seguridad (señaletica, rutas de evacuacion, salidas de emergencia, disposicion de primeros auxilios y brigadistas)	Brigada de Proteccion Civil	13/05/2026	Fotografica
	Equipo de expertos en el SGen					13/05/2026	
						13/05/2026	
			2	Verificacion de corriente electrica en contactos y centro de carga	Expertos del Sgen	13/05/2026	

ELABORÓ:	REVISÓ:	APROBÓ:
Eucalit Sanchez Garcia Coordinador del Sgen	Nora Lucia Garcia Castañeda Responsible de los Sistemas	Nora Lucia Garcia Castañeda Responsible de los Sistemas
8 de mayo de 2026	19 de mayo de 2026	19 de mayo de 2026

APLICACIÓN DE LOS KPIS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE

Cristian Omar Ramirez Lopez[1]
Perfecto Gabriel Trujillo Castro[2]
Sonia Báez Lagunes[3]

RESUMEN

Los indicadores clave de desempeño (KPIs) son herramientas fundamentales para desarrollar en una empresa porque permiten medir el progreso hacia objetivos. Se decide trabajar con esta herramienta debido a que ayuda a medir el éxito de un proyecto, estrategia o acción, indicando si se está avanzando hacia los objetivos propuestos. Los KPIs permiten evaluar el rendimiento y tomar decisiones basadas en datos concretos.

Las empresas de construcción han tenido problemas con los tiempos de entrega, la falta de organización en materiales, en organizar al personal y también con la falta de un proceso estandarizado que les ayude a cumplir sus metas como áreas o empresa. Es importante llevar un orden de producción, así como llevar un orden con el personal para saber qué tareas deben hacer al finalizar el día. La implementación de un proyecto en empresas dedicadas a montaje y ensamble donde se requiere utilizar una herramienta de medición, llamada KPIs para analizar el proceso de construcción, y para eso se aplican indicadores de medición, con el fin de evaluar y monitorear el proceso de construcción, y así tener datos específicos sobre la estrategia aplicada y encontrar áreas de mejora.

Palabras clave: Indicadores claves de desempeño, seguridad, calidad, análisis.

INTRODUCCIÓN

Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) proviene de la frase en inglés *key performance indicator*. Hablar de una empresa en el 2025 se define como una organización bien estructurada que realiza un bien o servicio generando miles de ganancias, y surgen preguntas: ¿Cómo lo lograron? Toda empresa tiene caídas, momentos difíciles, pero algo que hará la diferencia y llevará al éxito es la buena administración.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. M25023011@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. perfecto.tc@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. sonia.bl@veracruz.tecnm.mx

una empresa tiene que tener cuatro elementos importantes: planear sus estrategias, organizar sus recursos, dirigir sus recursos humanos en un sentido y controlar. ¿Cómo controlar toda una empresa? El estar presente en cada proceso de una empresa es imposible, por lo cual cada área debe tener un formato que nos permita visualizar el cumplimiento de nuestras metas. Un KPIs es una métrica cuantitativa que muestra cómo tu equipo o empresa progresa hacia tus objetivos empresariales más importantes.

Se pueden establecer indicadores claves de desempeño para toda la empresa, pero esto dependerá de las métricas a las que quieres dar seguimiento. Podemos simplificarlo como las áreas críticas.

Un KPIs es una herramienta útil que se establece adecuadamente a la necesidad, ayudará a detectar el problema y obtener resultados favorables. Muchas empresas ven a un KPIs como un formato auditable de requerimiento legal, de ámbito obligatorio, y no como una herramienta potencial que, si se planea, monitorea y se evalúa de manera correcta y arbitraria, para alcanzar los objetivos de área, división o empresa.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad muchas empresas dedicadas a montaje y ensamble enfrentan desafíos para adaptase a la aplicación de instrumentos de medición de desempeño;

La ausencia de criterios técnicos y estratégicos para priorizar los KPIs más relevantes en el proceso de construcción para empresas dedicadas a montaje y ensamble.

No se cuenta con un análisis sistemático que permita analizar el comportamiento y desempeño de los KPIs seleccionados en el proceso de construcción.

El acompañamiento de los KPIs se realiza de manera dispersa, carece de un orden sistemático.

Por lo tanto podemos guiar la problemática ¿Cómo impactan los KPIs en el proceso de construcción en empresas dedicadas a montaje y ensamble? la gestión de indicadores tiene potencial al aplicarla como herramienta de medición para contribuir al análisis de procesos de construcción para empresas dedicadas a montaje y ensamble; permite medir pérdidas y ganancias, la manera en la que se utilizan los recursos, para cumplir con objetivos organizacionales.

JUSTIFICACION Y RELEVANCIA

La administración permite planear estrategias las cuales deben ser analizadas para ser controladas. Para ello se utilizan los indicadores claves de desempeño como herramienta tangible para medir los objetivos deseados. Al utilizar una herramienta como indicadores de desempeño en empresas dedicadas a montaje y ensamble de maquinaria industrial, permite identificar los indicadores más

relevantes y los que afectan en mayor cantidad; a su vez, analizar el comportamiento de los mismos para establecer un sistema de monitoreo constante y oportuno, para detectar oportunidades como áreas críticas que permitirán proponer recomendaciones para optimizar. Porque los resultados pueden ser utilizados para diseñar o rediseñar estrategias que mejoren el proceso de construcción. Los resultados que se obtienen al aplicar esta herramienta de medición pueden ser de interés para todas las empresas de cualquier rubro, por el beneficio que genera en la planeación de estrategias.

La aplicación de indicadores de desempeño permite evaluar el éxito de estrategias, identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en datos. Estos datos deben ser representados de manera numérica para que permitan representarlo; para que la información sea recolectada, se utilizan herramientas como fichas de registro o dashboard. Para medir el progreso hacia los objetivos de un negocio o proyecto, es importante proporcionar información clave para tomar decisiones. Es importante delimitar el estudio en áreas críticas o relevantes para poder realizar el análisis de manera más detallada con un buen seguimiento; cuando la información se extiende, las ideas y el sentido de un estudio se pueden perder. En esta ocasión, el estudio se centra en dos áreas de interés: calidad y seguridad, no porque sean más importantes que otra, simplemente se define dependiendo de la necesidad.

Por lo tanto, es importante que en estas variables exista una correlación, ya que ambas dependen de manera proporcional y se afectan directamente; no puede existir calidad sin tomar seguridad y buenas prácticas.

Es importante mencionar que el análisis de indicadores comprende a empresas dedicadas a montaje y ensamble de maquinaria industrial

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Analizar los (KPIs) para la evaluación del proceso de construcción en empresas dedicadas a montaje y ensamble de maquinaria industrial con el propósito de identificar oportunidades de mejora en la eficiencia, calidad y seguridad.

Objetivo especifico

- Identificar los KPIs más relevantes para el proceso de constructivo en empresas dedicadas a montaje y ensamble de maquinaria industrial
- Analizar el comportamiento y desempeño de los KPIs seleccionado en el proceso de construcción.

- Establecer un sistema de monitoreo que permita el seguimiento continuo de KPIs durante el proceso constructivo.
- Detectar oportunidades y áreas críticas de mejora mediante el análisis de los resultados mostrados en los KPIs
- Proponer recomendaciones para optimizar el proceso de constructivo con base en el análisis de los KPIs.

HIPÓTESIS

Al aplicar los indicadores de calidad y seguridad en el proceso de construcción en empresas dedicadas al montaje y ensamble de maquinaria, habrá una reducción del 20% en accidentes laborales y el 10 % en retrabajos.

Esta hipótesis plantea que, mediante el uso adecuado de KPIs, se logrará una evaluación que facilite el mejoramiento del proceso de construcción, lo cual es clave para la gestión exitosa de proyectos de construcción.

MARCO TEÓRICO

Los indicadores clave de rendimiento (KPIs) proviene de la frase en inglés *key performance indicator*. Hablar de una empresa en el 2025 se define como una organización bien estructurada que realiza un bien o servicio generando miles de ganancias, y surgen preguntas: ¿Cómo lo lograron? Toda empresa tiene caídas, momentos difíciles, pero algo que hará la diferencia y llevará al éxito es la buena administración.

(Taylor, 1911) introdujo la medición científica del trabajo, estableciendo indicadores de desempeño, enfocada en el tiempo y movimiento de la productividad, lo que permitió medir el rendimiento de los trabajadores para establecer una mejora en los procesos. La aportación que tiene en proyectos es que el estudio permite analizar el desempeño de los trabajadores enfocado en sus funciones y alcances; esto permite tener en constante control la productividad.

(Andy neely, 2005) Establecen que las empresas a lo largo del tiempo evaluaron su desempeño principalmente mediante indicadores financieros (utilidad, costo, ganancias); sin embargo, esta forma es ineficiente. El objetivo principal está basado en nuevas filosofías de gestión total de calidad y lean manufacturing con ayuda de avances tecnológicos que permitan recopilar datos y analizarlos de manera más eficiente.

Una empresa que cuenta con los KPIs debe estar alineada con sus objetivos, y estos deben permitir medirse en un tiempo determinado. Una empresa realiza evaluaciones mensuales de los KPIs, de tal

manera que, si no se cumple con la meta clara y el tiempo, esto no permitirá una medición real, y será aproximada.

“Los KPIs deben diseñarse de manera alineada a la misión y visión de la empresa, evitando la acumulación excesiva de indicadores irrelevantes. De hecho, enfatiza que muchas organizaciones caen en el error de medir lo fácil en lugar de lo importante, lo cual genera confusión y dispersión de esfuerzos” (smith, 2016).

Para establecer e implementar un indicador clave de desempeño, es importante aclarar la estrategia, el camino que se debe recorrer para llegar al resultado esperado, identificar los factores críticos de éxito; para ello se deben identificar aquellos factores y oportunidades. Proponer indicadores potenciales, de los cuales se deben se deben seleccionar los relevantes, definir y capacitar a los responsables para poder implementar; un punto, importante es el control periódicamente.

“Un buen KPIs debe ser relevante, comprensible, medible, accionable y limitado en número, ya que la efectividad radica en la calidad de los indicadores y no en la cantidad” (smith, 2016). Si se analiza, los KPIs actúan como un puente entre la estrategia y la operación, facilitando la toma de decisiones y el seguimiento del desempeño organizacional.

Para poder aplicar un indicador clave de desempeño en diferentes áreas, lo importante es una buena planeación de funciones y objetivos, un diseño cuidadoso que permita contribuir. Un punto importante es entender que por tener una buena planeación no te garantiza el éxito. Los obreros son importantes para que los objetivos se cumplan; es importante mantener la motivación.

“Los KPIs deben ser seleccionados con base en su relevancia para la estrategia, su capacidad de medición y su orientación a la acción, evitando la sobrecarga de métricas innecesarias que dificultan la toma de decisiones” (Corral, 2010)

Los KPIs representan la traducción de la estrategia en indicadores concretos que permiten monitorear el éxito o el fracaso en la ejecución de los planes. Para que un KPIs sea efectivo, debe cumplir con el criterio SMART (específico, medible, alcanzable, relevante y temporal). (georeport, 2023)

Un dashboards es una herramienta de gestión visual que permite medir, monitorear y administrar el desempeño de una organización. Su función principal es facilitar la toma de decisiones fundamentadas, mediante la presentación de datos relevantes de manera clara, resumida y en tiempo real.

A diferencia de los reportes tradicionales, los dashboards permiten a los gestores actuar proactivamente, en lugar de limitarse a observar información histórica. (Eckerson, 2009)

Comunicación organizacional: alinea los objetivos estratégicos con las métricas operativas de la organización. (Eckerson, 2009)

METODOLOGÍA

Es importante definir la forma en la cual se analiza una investigación, comprender el camino que se debe recorrer en el estudio para evitar que la información obtenida no sea abundante e irrelevante. Por lo cual, el objetivo debe ser delimitar la información concreta y utilizar las herramientas adecuadas. La investigación se centra en los KPIs de seguridad y calidad en empresas dedicadas a montaje y ensamble.

Enfoque de investigación

Cuantitativo: Es la forma representativa de cómo poder medir métricas; son a través de números y estadísticas representadas durante el periodo agosto - diciembre del 2025. Una vez definido el periodo (ej. mensualmente, mes de agosto 2025), se recobran los datos de las métricas del mes establecido y se representan de manera numérica

Diseño de investigación.

Se requiere reducir 20 % de accidentes laborales y el 10 % de retrabajo en ensambles finales; para ello es necesario obtener los datos de los meses en cuestión, lo cual permite tener valores comparativos, ya que el periodo que se analiza es agosto-diciembre 2025. Con estos datos nos permite visualizar que al implementar los indicadores de desempeño de calidad y seguridad se tuvo éxito, lo que permite comprobar la hipótesis planteada.

Para el desarrollo de la investigación, es importante presentar los datos reales de los indicadores claves de desempeño de seguridad y calidad; se debe asignar una clave para cada indicador. Los de seguridad empezarán con clave S (S1, S2, S3, S4, S5) y los de calidad, con Q (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5). Una vez identificado a través del dashboard, se presenta una gráfica, que nos permite visualizar las metas vs valor de indicador.

Si el valor del indicador clave de desempeño es mayor que la meta, se puede definir que está en color verde (se está cumpliendo con KPIs), pero si el valor mostrado del indicador clave de desempeño es menor a la meta establecida, significa que es color rojo (no se está cumpliendo con los KPIs) y se requiere aplicar planes de acción establecidos a continuación.

Muestra

Black Toro Machines, Veracruz, área de servicio, 50 empleados

Instrumentos de recolección de datos

Formato de registro

INIDICDORES CLAVES DE DESEMPEÑO EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE DE MAQUINARIA

NOMBRE :	
AREA:	
MES:	
FECHA ;	

Semana 1

	SEGURIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales		2
Faltas por incapacidad		0
Incidentes registrables		3
observaciones por actos inseguros		4
Capacitaciones realizadas		1

Semana 2

	SEGURIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales		0
Faltas por incapacidad		0
Incidentes registrables		1
observaciones por actos inseguros		3
capacitaciones realizadas		0

Semana 1

	CALIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes		3
Retrabajos		2
Entregas en tiempo		4
Observaciones		3
Capacitciones realizadas		0

Semana 2

	CALIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes		4
Retrabajos		3
Entregas en tiempo		5
Observaciones		2
Capacitciones realizadas		1

Semana 3

	SEGURIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales		0
Faltas por incapacidad		3
Incidentes registrables		0
observaciones por actos inseguros		3
capacitaciones realizadas		0

Semana 4

	SEGURIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor	TOTAL
Accidentes totales		1	3
Faltas por incapacidad		1	4
Incidentes registrables		2	6
observaciones por actos inseguros		2	12
capacitaciones realizadas		0	1

Semana 3

	CALIDAD	
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes		4
Retrabajos		0
Entregas en tiempo		5
Observaciones		1
Capacitciones realizadas		0

Semana 4

	CALIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor	TOTAL
Encuestas realizadas a clientes		2	13
Retrabajos		0	5
Entregas en tiempo		4	18
Observaciones		0	6
Capacitciones realizadas		1	2

INIDICDORES CLAVES DE DESEMPEÑO EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE DE MAQUINARIA	
NOMBRE:	
AREA:	
MES:	
FECHA:	

indicadores	meta	indicador	
Tasa de accidentes totales (TAT)	19	53	Accidentes totales por cada 200000 horas hombres trabajadas
Tasa de Gravedad (TG):	19	70	Incapacidades por cada 200000 horas hombre trabajadas
Incidentes registrables:	2	6	
Observaciones por actos inseguros	10	12	
Capacitación en Seguridad Realizada:	100%	25%	

indicadores	Meta	Valor	
Índice de satisfacion de cliente	100%	81%	Porcentaje de cumplimiento por cada meta establecida
Índice de retrabajos o reprocesos	10%	25%	
Cumplimiento de tiempos de entrega	100%	90%	
Hallazgos de auditoría externa	20%	30%	
Índice de capacitación	100%	50%	

Técnicas de análisis

Se usara una herramienta formato de registro para capturar los datos semanal de los indicadores, a su vez usando programas de Excel , podremos obtener la base de datos mensual de los indicadores y podremos mostrar visualizar a través de una dashboard , para analizar si los indicadores se cumplen de no ser así aplicar planes de acción.

Caso aplicado

Se plante la recolección de datos, a través de formato de registro y base de datos se visualiza a través de una dashboard y se análisis de los indicadores de seguridad y calidad del mes de diciembre del 2025 para determinar que indicadores están por debajo de la meta establecida y así aplicar planes de acciones específicos para cada indicadores .

INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE DE MAQUINARIA	
NOMBRE :	BLACK TORO MACHINES
AREA:	SERVICIO
MES:	DICIEMBRE 2025
FECHA ;	22/12/2025

Semana 1

SEGURIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales	0	1
Faltas por incapacidad	0	0
Incidentes registrables	1	1
observaciones por actos inseguros	1	2
Capacitaciones realizadas	1	0

Semana 2

SEGURIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales	0	1
Faltas por incapacidad	0	1
Incidentes registrables	0	1
observaciones por actos inseguros	1	2
capacitaciones realizadas	1	0

Semana 3

SEGURIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Accidentes totales	0	0
Faltas por incapacidad	0	0
Incidentes registrables	1	0
observaciones por actos inseguros	1	1
capacitaciones realizadas	1	0

Semana 4

SEGURIDAD			
Nombre del indicador	Meta	Valor	TOTAL
Accidentes totales	0	1	3
Faltas por incapacidad	0	1	2
Incidentes registrables	0	1	3
observaciones por actos inseguros	1	2	7
capacitaciones realizadas	1	0	0

Semana 1

CALIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes	4	2
Retrabajos	1	2
Entregas en tiempo	5	5
Observaciones	5	2
Capacitciones realizadas	1	1

Semana 2

CALIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes	4	3
Retrabajos	0	1
Entregas en tiempo	5	4
Observaciones	5	1
Capacitciones realizadas	1	1

Semana 3

CALIDAD		
Nombre del indicador	Meta	Valor
Encuestas realizadas a clientes	4	4
Retrabajos	1	1
Entregas en tiempo	5	5
Observaciones	5	1
Capacitciones realizadas	1	0

Semana 4

CALIDAD			
Nombre del indicador	Meta	Valor	TOTAL
Encuestas realizadas a clientes	4	0	9
Retrabajos	0	3	7
Entregas en tiempo	5	5	19
Observaciones	5	3	7
Capacitciones realizadas	1	0	2

INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO EN EMPRESAS DEDICADAS A MONTAJE Y ENSAMBLE DE MAQUINARIA	
NOMBRE :	BLACK TORO MACHINES
AREA:	SERVICIO
MES:	DICIEMBRE 2025
FECHA ;	22/12/2025

indicadores	meta	indicador	
Tasa de accidentes totales (TAT)	19	53	Accidentes totales por cada 200000 horas hombres trabajadas
Tasa de Gravedad (TG):	19	35	Incapacidades por cada 200000 horas hombre trabajadas
Incidentes registrables:	2	3	
Observaciones por actos inseguros	10	7	
Capacitación en Seguridad Realizada:	100%	0%	

indicadores	Meta	Valor	
Índice de satisfacion de cliente	100%	56%	Porcentaje de cumplimiento por cada meta establecida
Índice de retrabajos o reprocesos	10%	35%	
Cumplimiento de tiempos de entrega	100%	95%	
Hallazgos de auditoría externa	20%	35%	
Índice de capacitación cumplida	100%	50%	

Formato de registro mes de diciembre 2025

Base de datos mes de diciembre 2025



Diciembre

- **Tasa de accidentes totales**

Plan de acción aplicado

- Platica de seguridad al iniciar la jornada reforzando las áreas de peligro y actividades (15 min)
- El supervisor de seguridad asignado, deberá estar al pendiente de las actividades a realizar y cuando se realicen trabajos de alto riesgo no deberá moverse de la actividad y de tener alguna condición o acto inseguro.
- Realizar capacitaciones DC3 a los trabajadores para realizar actividades específicas de acuerdo a su categoría.
- Cuando algún trabajador sea sorprendido con algún acto inseguro puede ser suspendido de 1 a 3 días.
- Realizar boletines mensuales sobre actividades peligrosas los puntos débiles detectados y puntos de mejora para que el trabajador observe y tenga el conocimiento de como poder ejecutar con mayor seguridad su actividad.
- **Tasa de gravedad**

Plan de acción aplicado

- Tener personas capacitadas que realicen evaluaciones médicas cuando se reporta un accidente, para dar validez a las incapacidades, la severidad de ellos y los días que aplican.
- Realizar pláticas de seguridad al iniciar turno para reformas, temas de seguridad (equipo de protección personal, candadeo, trabajos en caliente, trabajos en altura).
- Dar cada 2 meses equipo de protección personal y equipo de protección para tareas específicas.

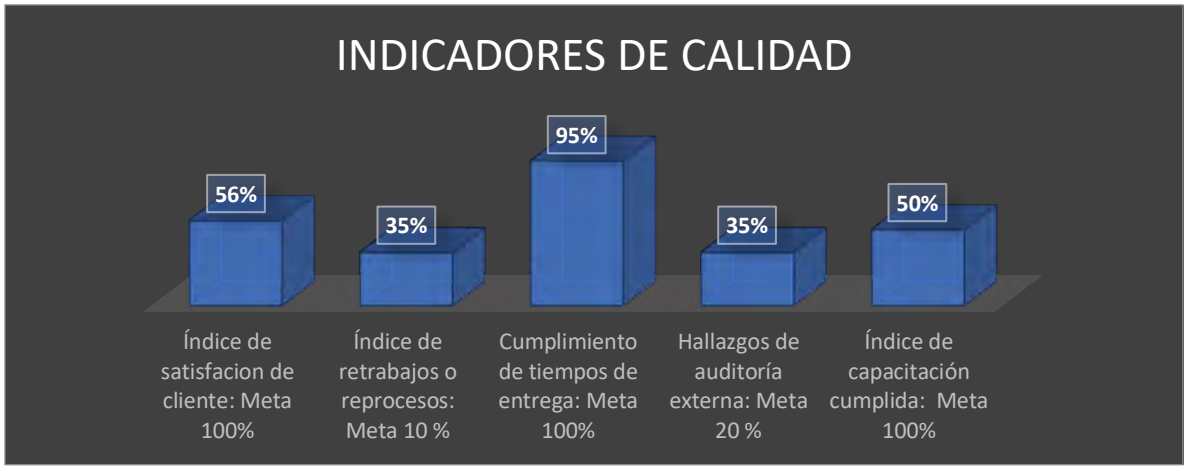
- Por cada 10 personas trabajando en un mismo lugar o actividad establecer un supervisor de seguridad.
- **Incidentes registrables**

Plan de acción aplicado.

- Platica de seguridad al iniciar la jornada reforzando las áreas de peligro y actividades (15 min).
- El supervisor de seguridad asignado, deberá realizar retroalimentación cuando observe una mala práctica de seguridad.
- Todo incidente se debe reportar e investigar para identificar el problema y realizar plan de seguridad de esa actividad para evitar que se repita el incidente.
- El incidente debe tener evidencia fotográfica, reporte del incidente y firma de supervisor y coordinador de seguridad para ser validado.
- Los supervisores de seguridad tienen que difundir el incidente y los puntos de mejora de la actividad
- **Capacitaciones realizadas**

Plan de acción aplicado

- El supervisor de seguridad será el encargado de verificar que los trabajadores cumplan con la capacitación adecuada para la actividad y con la vigencia de la capacitación (de no ser así parar la actividad)
- La empresa estableció 4 capacitaciones por mes; debe programar esta capacitación, fecha, día y hora, y asignar al personal adecuado.
- La empresa debe dar una constancia del curso con vigencia
- Asignar a un encargado de capacitaciones que cuente con la certificación.
- Los empleados deben aprobar con 80% las capacitaciones de no ser así deben repetir el curso



Diciembre

- **Índice de satisfacción al cliente**

Plan de acción aplicado.

- Realizar las 16 encuestas mensuales a los clientes
- Realizar las encuestas de manera y clara para que ayuden a detectar los puntos de mejora en la calidad.
- Aumentar los estándares de calidad en el proceso un 15 %
- Apegarse a los estándares de calidad exigidos por los clientes
- Mejorar las entregas en tiempo y forma que se alcance el 100%.
- Realizar auditorías internas.

CONCLUSIÓN

La implementación de los indicadores de seguridad y calidad, incremento la participación de todos los niveles operativos y técnicos, por lo cual facilito la implementación de la herramienta de medición logro bajar un 15 % los accidentes y un 7 % los retrabajos con respecto al mes anterior. Además, la implementación logro innovar manera en la cual se planteaba la seguridad y calidad en los procesos de construcción, por medio de capacitaciones y concientización.

Este caso muestra la manera en como bien diseñada e implementada los indicadores claves de desempeño de calidad y seguridad, representa un rendimiento en los procesos de construcción en empresas dedicadas a montaje y ensamblaje.

REFERENCIA

Andy neely, M. G. (Diciembre de 2005). Diseño de sistemas de medicion del rendimiento.

Corral. (2010). *indicadores de gestion : herramientas para mejorar la produccion y competitividad empresarial.* trillas.

Eckerson, w. (2009). *perfomance dashboards.*

georeport. (2023). kpis: principales indicadores claves de desempeño.

smith. (2016). *key Perfomance indicator; Developing ,implenting and using winning kpis.* wiley.

Taylor, F. w. (1911). *Principios de la Administracion Cientifica.* nueva york y londres: Harper y Brothers Publishers.

Busch, R. (2022). *Informe de Sostenibilidad.* Munich: Siemens AG.

Constable, D. (2022). *Reporte Anual y de sostenibilidad.* Texas : Flour Corporation.

Deming, E. (1986). *Salir de La Crisis.* Ediciones Diaz.

Drucker, P. F. (1954). *administracion por objetivo.* Nueva York: Harper y Brothers.

Eccles, R. (1991). El manifiesto de la medicion del desempeño. *Harvard Business*, 137.

Farr, D. (2020). *Informe Anual .* Louis Missouri: Emerson Electric.

Faury, G. (2022). *Reporte Anual .* Amsterdam : AIRBUS.

Fayol, H. (1916). *administracion industrial y general.* Paris Francia: Dunod.

ELABORACION DE COMPOSTA COMO ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Luis Alberto Montes Gutiérrez[1]
Ana Grisel Hernandez Vallejo[2]
Salvador Paredes Rincón[3]
Reyli Jazael Roldan Mojica[4]

RESUMEN

La generación excesiva de residuos orgánicos representa una problemática ambiental que requiere alternativas sustentables para su manejo y aprovechamiento. En este contexto, la elaboración de composta casera constituye una estrategia ecológica basada en la descomposición biológica controlada de materiales orgánicos, permitiendo obtener un abono natural con importantes beneficios para el suelo y las plantas. El objetivo fue desarrollar el proceso de elaboración de composta y reconocer sus aportes en la mejora de la fertilidad del suelo. Este proyecto se realizó con estudiantes del Tecnológico Nacional de México Campus Úrsulo Galván durante el periodo agosto-diciembre 2024. Se emplearon materiales como hojarasca, estiércol de bovino, residuos de frutas y verduras, etc.

Palabras clave: Residuos, actividad, composta**.**

INTRODUCCIÓN

El compostaje constituye un proceso biológico mediante el cual los residuos orgánicos son transformados por la acción de microorganismos en un material estable denominado composta. Este producto final representa una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo, ya que aporta nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal y favorece las propiedades físicas del suelo, incrementando su capacidad de retención de agua, nutrientes y aireación (Masabni et al., 2010).

En la actualidad, el compostaje es considerado una de las estrategias más eficientes para el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos o biorresiduos generados por las actividades humanas (Slater y Frederickson, 2001). Su implementación se ha extendido ampliamente debido a que requiere una inversión relativamente baja y su manejo resulta sencillo, lo que ha permitido que esta tecnología sea adoptada con éxito en numerosos países en desarrollo (Li et al., 2013).

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. luis.mg@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. ana.hv@ ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. paredesrincon@yahoo.com.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván.

De acuerdo con Chiumenti et al. (2005), el proceso de compostaje comprende dos fases fundamentales: la etapa de descomposición y la etapa de estabilización. Durante la primera fase, predominan los microorganismos aerobios mesofílicos, los cuales degradan compuestos orgánicos fácilmente biodegradables, tales como azúcares, proteínas, aminoácidos y almidones. Como resultado de esta actividad microbiana se produce un elevado consumo de oxígeno, liberación de dióxido de carbono y generación de energía térmica, manifestada mediante el incremento de la temperatura de la masa en compostaje (Stentiford y De Bertoldi, 2010).

Asimismo, durante esta fase inicial pueden generarse compuestos potencialmente fitotóxicos, entre ellos el amoníaco (NH3) y diversos ácidos grasos volátiles de cadena corta; sin embargo, dichos compuestos son posteriormente metabolizados por la comunidad microbiana presente en el sistema (Smårs et al., 2002). La intensa actividad biológica se mantiene hasta que disminuye la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica fácilmente degradable.

Posteriormente, inicia la etapa de estabilización, caracterizada por la degradación de compuestos orgánicos más complejos y resistentes. Durante esta fase se observa una disminución gradual de la temperatura y el mantenimiento de un pH ligeramente alcalino hasta la culminación del proceso (Epstein, 2011). Paralelamente, la población de microorganismos termofílicos decrece y vuelven a predominar los microorganismos mesofílicos. En esta etapa, los actinomicetos desempeñan un papel fundamental al participar en la degradación lenta de compuestos estructurales como la celulosa, hemicelulosa, almidón y lignina, materiales indispensables para la formación de sustancias húmicas (Stentiford y De Bertoldi, 2010).

Al concluir el proceso, se obtiene una materia orgánica biológicamente estable, aunque continúan desarrollándose procesos microbianos de baja intensidad (Insam y De Bertoldi, 2007). El producto final, denominado composta, se caracteriza por contener materia orgánica estabilizada compatible con el desarrollo de las plantas, además de presentar un grado parcial de humificación (Stentiford y De Bertoldi, 2010; Insam y De Bertoldi, 2007).

Las propiedades fisicoquímicas de la composta determinan su calidad y potencial de uso agrícola. Entre los parámetros más relevantes se encuentran el carbono orgánico total (COT), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el nitrógeno total e inorgánico, el pH, la conductividad eléctrica (CE), la concentración de macro y micronutrientes, la densidad aparente, el contenido de humedad, la capacidad de retención de agua y el tamaño de partícula (Sullivan y Miller, 2001; Hargreaves et al., 2008).

DESARROLLO

La elaboración de la composta se desarrolló como una actividad complementaria con estudiantes de la carrera de Agronomía, con el propósito de fortalecer los conocimientos teóricos y prácticos relacionados con el manejo sustentable de los residuos orgánicos y la conservación del medio ambiente.

Como actividad inicial, se impartió una explicación sobre la importancia de la producción de composta a nivel doméstico, enfatizando sus beneficios para la fertilidad del suelo, el desarrollo de las plantas y el aprovechamiento adecuado de los residuos orgánicos generados en los hogares. Asimismo, se destacó su contribución a la reducción de la contaminación ambiental y a la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

Posteriormente, se procedió a la selección y acondicionamiento del área destinada para la instalación de la composta. El terreno fue limpiado manualmente mediante el uso de machete para eliminar la vegetación existente. Una vez acondicionada la superficie, se delimitó un área de un metro cuadrado utilizando una cinta métrica. Posteriormente, con apoyo de pico y pala, se excavó un hoyo con una profundidad aproximada de 1.5 metros.

Una vez preparada la estructura, se inició la conformación de la composta mediante la incorporación sucesiva de diferentes materiales orgánicos dispuestos en capas de aproximadamente 10 cm de espesor. Los materiales empleados incluyeron hojarasca, estiércol bovino, residuos de frutas, residuos de verduras, tierra y agua. La secuencia de colocación consistió en una capa inicial de hojarasca, seguida por una capa de tierra, posteriormente una capa de estiércol bovino y finalmente una capa integrada por residuos de frutas y verduras. Entre cada uno de estos estratos se incorporó una capa adicional de aproximadamente 5 cm de tierra.

Con el objetivo de favorecer las condiciones óptimas para la actividad microbiana y acelerar el proceso de descomposición, cada capa fue humedecida abundantemente con agua. Este procedimiento se repitió semanalmente siguiendo el mismo orden de materiales.

Una vez concluida la integración de los materiales, se realizó la aplicación periódica de agua sobre la capa superior para mantener niveles adecuados de humedad y favorecer la actividad biológica responsable de la degradación de la materia orgánica. Después de un periodo aproximado de cuatro meses, se obtuvo una composta apta para ser utilizada como abono orgánico en suelo y plantas.

Los resultados observados durante el desarrollo de esta actividad coinciden con lo señalado por Oviedo (2015), quien menciona que la calidad de los materiales utilizados en la elaboración de composta es un factor determinante para optimizar parámetros como la relación carbono/nitrógeno (C/N), el contenido de humedad, el pH, la disponibilidad de nutrientes y la porosidad del material.

Asimismo, destaca que la cantidad de residuos orgánicos disponibles debe ser suficiente para garantizar la adecuada instalación y funcionamiento del sistema de compostaje.

De manera similar, Bernal et al. (2009) señalan que el éxito del proceso de compostaje depende en gran medida de la adecuada selección y combinación de materiales orgánicos, ya que estos influyen directamente en la actividad microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica y en la calidad final del compost obtenido. Los autores destacan que una relación carbono/nitrógeno equilibrado favorece una descomposición más eficiente y una mayor estabilidad del producto final.

Por otra parte, Haug (1993) indica que la incorporación de materiales ricos en carbono, como la hojarasca, y materiales ricos en nitrógeno, como el estiércol bovino y los residuos frescos de frutas y verduras, permite crear condiciones óptimas para el crecimiento de microorganismos descomponedores, acelerando la transformación de los residuos orgánicos en un abono estable y libre de fitotoxicidad.

Asimismo, Díaz et al. (2007) afirman que el mantenimiento adecuado de la humedad es uno de los factores más importantes durante el compostaje, ya que el agua facilita el metabolismo microbiano y la degradación de los compuestos orgánicos. En este sentido, la práctica de humedecer periódicamente cada capa y mantener condiciones favorables durante todo el proceso contribuyó significativamente a la obtención de una composta madura después de aproximadamente cuatro meses.

Los resultados también concuerdan con lo reportado por Tiquia (2005), quien menciona que la estabilización de la materia orgánica ocurre cuando los microorganismos transforman los compuestos fácilmente degradables en sustancias húmicas más complejas, generando un producto final capaz de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

De igual manera, Restrepo y Hensel (2007) destacan que la utilización de residuos orgánicos disponibles localmente, tales como estiércoles, restos vegetales y residuos domésticos, representa una alternativa sustentable para disminuir la generación de desechos y mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas, contribuyendo simultáneamente a la conservación del medio ambiente.

Finalmente, estudios realizados por Epstein (2011) demuestran que la aplicación de composta madura incrementa la capacidad de retención de agua, mejora la estructura del suelo, favorece la actividad biológica y aumenta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, aspectos que justifican su uso como una práctica fundamental dentro de los sistemas agrícolas sostenibles y agroecológicos.

CONCLUSIONES

La actividad permitió elaborar una composta casera, obteniéndose un abono orgánico de buena calidad que posteriormente fue aplicado al suelo y a diversas plantas, contribuyendo al mejoramiento de sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

La elaboración de composta constituyo una estrategia ambientalmente sostenible para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en los hogares, instituciones educativas y actividades agropecuarias. A través del proceso de descomposición biológica controlada, es posible transformar materiales considerados desechos en un recurso valioso que mejora la fertilidad y calidad de los suelos.

Desde una perspectiva educativa, la elaboración de composta favoreció el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes orientadas hacia la conservación ambiental. La participación de los estudiantes en cada una de las etapas del proceso permitió fortalecer el aprendizaje práctico sobre el reciclaje de residuos orgánicos, el funcionamiento de los microorganismos descomponedores. De esta manera, el compostaje se consolida como una herramienta pedagógica eficaz para promover una cultura de responsabilidad ambiental en la educación superior.

Los resultados obtenidos demostraron que la composta elaborada a partir de residuos vegetales, estiércol bovino y hojarasca puede convertirse en una fuente importante de nutrientes para las plantas, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos sintéticos. Además, la incorporación de composta al suelo favorece la retención de humedad, mejora la estructura edáfica y estimula la actividad biológica, contribuyendo a la recuperación y conservación de la fertilidad de los agroecosistemas.

La actividad desarrollada permitió constatar que el compostaje es una alternativa apropiada para las condiciones rurales y urbanas debido a su simplicidad, bajo costo de implementación y beneficios ambientales. La reutilización de los residuos orgánicos mediante este proceso no solo disminuye los problemas asociados a la acumulación de desechos, sino que también genera un producto útil para la agricultura, los huertos familiares y las áreas verdes, fortaleciendo los principios de la sustentabilidad y la gestión integral de residuos.

La actividad de compostaje permitió integrar conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la agroecología, la conservación del suelo y el manejo sustentable de los recursos naturales. La obtención de una composta de buena calidad confirmó la importancia de seguir procedimientos técnicos adecuados durante el proceso, especialmente en aspectos como la selección de materiales, el control de la humedad y el tiempo de maduración. Por ello, se recomienda fomentar esta práctica en instituciones educativas y comunidades rurales como una alternativa viable para la valorización de residuos orgánicos y el fortalecimiento de la educación ambiental.

Durante el desarrollo de esta práctica se constató que el compostaje representa una alternativa viable y sustentable para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en los hogares. Además de reducir la cantidad de desechos enviados a los sitios de disposición final, esta técnica favorece la producción de fertilizantes orgánicos que pueden ser utilizados en actividades agrícolas y de jardinería. Los estudiantes participantes reconocieron que la elaboración de composta en el hogar constituye una estrategia sencilla, económica y ambientalmente responsable para transformar residuos orgánicos en un recurso útil. Esta práctica fortaleció sus competencias técnicas y su compromiso con la conservación del medio ambiente, demostrando que pequeñas acciones realizadas desde el ámbito doméstico pueden generar impactos positivos significativos en la sostenibilidad de los agroecosistemas y en la protección de los recursos naturales.

REFERENCIAS

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *A review*. *Bioresource Technology, 100*(22), 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027

Díaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2007). *Compost science and technology*. Elsevier.

Epstein E. Industrial composting: environmental engineering and facilities management, 2a ed., EU, CRC, Tailor & Francis Group, Press. Boca Raton, 2011, pp. 15-24.

Hargreaves J., Adl M., Warman P. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, volumen 123 (número 1), 2008:1-14.

Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers.

Chiumenti A., Chiumenti R., Diaz L., Savage G., Eggerth L., Goldstein N. Modern composting technologies, Singapore. BioCycle Journal of Composting y Organics Recycling, 2005: 12-18.

Insam H., De Bertoldi M. Microbiology of Composting Process, en: Diaz L.F., de Bertoldi M., Bidlingmaier W., Stentiford E., Waste Management Series 8, Compost Science and Technology, United Kingdom, Elsevier Ltd., 2007, pp. 25-48.

Li Z., Lu H., Ren L., He L. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. Chemosphere, volume 93 (número 7), 2013:1247-1257

Masabni J., Lillard P. "Beginning Hispanic Farmers and Ranchers Development Program", Texas A&M-Commerce, USDA-NIFA, Grant No. 2010-49400-21729.

Oviedo, J. A. (2015). Manual práctico para la elaboración de compost y lombricompost. Editorial Académica Española.

Oviedo-Ocaña E.R. Estrategias para la optimización del proceso y la calidad del producto del compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo, (tesis doctorado en ingeniería), Colombia, Universidad del Valle, 2015, 141 p.

Restrepo, J., & Hensel, M. (2007). *Manual práctico: El ABC de la agricultura orgánica y harina de rocas*. Fundación Juquira Candirú.

Slater R.A., Frederickson J. Composting municipal waste in the UK: some lessons from Europe. Resources, Conservation and Recycling, volumen 32 (número 3), 2001: 359-374.

Smårs S., Gustafsson L., Beck-Friis B., Jönsson H. Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. Bioresource Technology, volumen 84 (número 3), 2002: 237-241.

Stentiford E., De Bertoldi M. Composting process, en: Christensen T., Solid Waste Technology & Management, 1ra ed., United Kingdom, Blackwell Publishing Ltd., 2010, pp 515-532.

Sullivan D.M., Miller, R.O. Compost quality attributes, measurements and variability, en: Stoffella P.J., Kahn B.A. Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, 1ra ed., Estados Unidos, Boca Raton, Lewis Publishers, 2001, pp. 95-120.

Tiquia, S. M. (2005). Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology, 99*(4), 816–828. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02673.x

IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

Luis Alberto Montes Gutiérrez[1]
Abigail Vazquez Garcia[2]
Ana Grisel Hernandez Vallejo[3]
Alfredo Diaz Criollo[4]

RESUMEN

La implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) representan estrategias fundamentales para garantizar una producción hortícola inocua, sustentable y ambientalmente responsable. El presente trabajo se desarrolló de agosto a diciembre de 2024 en Úrsulo Galván, Veracruz, mediante asesorías técnicas dirigidas a estudiantes de Ingeniería en Agronomía. El objetivo fue fortalecer competencias teóricas y prácticas relacionadas con la producción de hortalizas bajo el enfoque de las BPA. Las actividades realizadas fueron capacitación en preparación del terreno, establecimiento de hortalizas, elaboración de composta, manejo agronómico y cosecha. Esta actividad permitió fomentar habilidades técnicas, conciencia ambiental y el interés por implementar sistemas agrícolas sustentables en la producción hortícola.

Palabras clave: Implementación, Buenas Prácticas Agrícolas, capacitación.

INTRODUCCION

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) comprenden un conjunto de principios, lineamientos y recomendaciones técnicas orientadas a garantizar la producción de alimentos inocuos, sostenibles y de elevada calidad, procurando simultáneamente la reducción de los impactos ambientales y la protección de la salud tanto de los trabajadores agrícolas como de los consumidores. Estas prácticas surgieron como una respuesta a las crecientes preocupaciones mundiales relacionadas con la seguridad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y el bienestar de las comunidades rurales (FAO, 2016).

La aplicación de las BPA involucra diferentes componentes del sistema productivo agrícola, entre los que destacan el manejo adecuado del suelo, la utilización responsable de agroquímicos, la conservación de los recursos hídricos, la protección de la biodiversidad y la implementación del manejo

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. luis.mg@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. ana.hv@ugalvan.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz Úrsulo Galván. Alfredo.dc@ugalvan.tecnm.mx

integrado de plagas (Orozco et al., 2017). Asimismo, estas prácticas fomentan el cumplimiento de la normatividad laboral vigente, la capacitación continua de los trabajadores agrícolas y el seguimiento sistemático de las actividades productivas, favoreciendo la trazabilidad y transparencia dentro de la cadena agroalimentaria (Global G.A.P., 2021).

El enfoque central de las BPA radica en lograr una armonización entre la rentabilidad económica de las unidades de producción y la sostenibilidad ambiental y social a largo plazo (Hanson et al., 2017). En consecuencia, estas prácticas no se limitan a incrementar la productividad agrícola, sino que también buscan disminuir los efectos negativos derivados de los sistemas intensivos de producción, tales como la contaminación de suelos y recursos hídricos, la reducción de la biodiversidad y los riesgos para la salud humana (Pretty et al., 2018).

En un escenario global caracterizado por los efectos del cambio climático y el incremento constante en la demanda de alimentos seguros y producidos de manera sustentable, la adopción de las Buenas Prácticas Agrícolas representa una estrategia indispensable (Tilman et al., 2011). Los consumidores actuales muestran una creciente preocupación por el origen de los productos que adquieren, demandando alimentos que satisfagan elevados estándares de calidad y que además respondan a principios éticos y ambientales. Por esta razón, las BPA constituyen una herramienta estratégica para los productores agrícolas que buscan fortalecer su competitividad en mercados globalizados, contribuyendo simultáneamente a la conservación ambiental y al desarrollo de las comunidades rurales (FAO, 2016).

El presente trabajo tuvo como finalidad proporcionar asesoría técnica a estudiantes de Agronomía mediante un proceso de capacitación enfocado en la producción de hortalizas, abordando aspectos relacionados con la preparación del suelo, la siembra, las labores culturales y la cosecha, con el propósito de promover sistemas productivos eficientes y sostenibles que favorezcan la conservación de los recursos naturales y contribuyan a la seguridad alimentaria regional.

CONTENIDO, MATERIALES Y MÉTODOS

La presente actividad académica se desarrolló mediante un proceso de capacitación teórico-práctica dirigido a estudiantes de la carrera de Agronomía, con el propósito de fortalecer sus conocimientos y competencias en la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) aplicadas a la producción de hortalizas. Como punto de partida, se impartió una plática de inducción en la que se abordaron los principios fundamentales de las BPA y su importancia para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles, eficientes e inocuos.

Durante esta fase introductoria se analizaron los aspectos técnicos relacionados con la selección y evaluación del sitio de establecimiento del cultivo, la preparación y acondicionamiento del suelo, la ejecución de labores culturales, el manejo agronómico de las hortalizas y las actividades de cosecha. Asimismo, se destacó la relevancia de estas prácticas para garantizar la conservación de los recursos naturales, mejorar la productividad agrícola y contribuir a la seguridad alimentaria.

La metodología empleada se fundamentó en un enfoque participativo y de aprendizaje, promoviendo la interacción permanente entre docentes y estudiantes. Este esquema permitió que los participantes adquirieran inicialmente los fundamentos teóricos necesarios y, posteriormente, los aplicaran mediante actividades prácticas desarrolladas en campo. La combinación de conocimientos conceptuales y experiencias de aprendizaje práctico favoreció una comprensión integral de los procesos involucrados en la producción hortícola bajo criterios de sostenibilidad.

El desarrollo de esta actividad representó una estrategia formativa para la preparación profesional de los estudiantes, ya que fortaleció sus capacidades técnicas, analíticas y operativas en el manejo de cultivos hortícolas. Además, fomentó una visión crítica sobre la importancia de adoptar prácticas agrícolas responsables que contribuyan a la conservación ambiental, la producción de alimentos inocuos y el desarrollo sostenible del sector agropecuario.

Buenas Prácticas Agrícolas (BPA)

Las Buenas Prácticas Agrícolas pueden definirse como el conjunto de acciones y procedimientos implementados por los productores para garantizar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, asegurar la inocuidad de los productos obtenidos y minimizar los impactos negativos sobre el ambiente (FAO, 2016). Estas actividades abarcan desde el acondicionamiento del suelo y la gestión eficiente del agua hasta el manejo de plagas y la cosecha. De acuerdo con la FAO (2016), las BPA desempeñan un papel fundamental en la producción de alimentos inocuos y de alta calidad, al tiempo que favorecen la conservación ambiental y el mejoramiento de las condiciones de vida de los agricultores y sus familias.

Componentes fundamentales de las BPA

Entre los elementos más relevantes de las BPA se encuentran el manejo integrado de plagas, el uso eficiente y responsable de agroquímicos, la conservación del suelo y del agua, así como la administración sostenible de los recursos naturales. El manejo integrado de plagas constituye una estrategia que combina métodos culturales, biológicos y químicos para mantener las poblaciones de organismos perjudiciales bajo niveles económicamente aceptables, reduciendo al mínimo el uso de plaguicidas sintéticos (Flint & van den Bosch, 2012). Esta práctica favorece la disminución de riesgos ambientales y sanitarios asociados al uso excesivo de productos químicos.

De igual manera, el uso racional de agroquímicos implica la aplicación controlada y precisa de fertilizantes y productos fitosanitarios con la finalidad de prevenir la contaminación de los recursos edáficos e hídricos (Gutiérrez, 2018). Esta estrategia permite optimizar la eficiencia de los insumos agrícolas y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Impacto ambiental y social de las BPA

La adopción de Buenas Prácticas Agrícolas genera beneficios significativos en términos ambientales. Según Altieri (2002), estas prácticas favorecen la conservación de la biodiversidad, mejoran la calidad del suelo y contribuyen a disminuir la huella hídrica de la actividad agrícola. Asimismo, promueven un aprovechamiento más eficiente de los recursos naturales, aspecto particularmente relevante frente a los desafíos asociados al cambio climático y la disponibilidad limitada de recursos.

Desde la dimensión social, las BPA contribuyen a mejorar las condiciones laborales en el sector agrícola mediante la promoción de prácticas seguras y saludables. Estas incluyen recomendaciones relacionadas con el manejo adecuado de productos químicos, la utilización correcta del equipo de protección personal y la capacitación permanente en seguridad laboral (ILO, 2017). Como resultado, se protege la salud de los trabajadores y se incrementa la productividad al reducir la incidencia de accidentes y enfermedades ocupacionales.

Desafíos y oportunidades para la implementación de BPA

A pesar de las múltiples ventajas asociadas con las BPA, su implementación enfrenta diversas limitaciones, entre las que destacan la insuficiente capacitación técnica, la resistencia al cambio por parte de algunos productores y las restricciones económicas para adoptar nuevas tecnologías y prácticas agrícolas (Rodríguez, 2019). No obstante, existen importantes oportunidades para ampliar su adopción mediante políticas públicas de apoyo, esquemas de certificación y el creciente interés de los consumidores por productos agrícolas obtenidos bajo criterios de sostenibilidad (Biénabe & Sautier, 2005).

Producción de hortalizas y manejo agroecológico

La producción de hortalizas constituye una actividad agrícola que requiere la aplicación de procedimientos técnicos y metodológicos orientados a garantizar la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental. Este proceso comprende diversas etapas, desde la preparación del terreno hasta la cosecha, incluyendo prácticas de manejo agronómico indispensables para el adecuado desarrollo de los cultivos.

Preparación del terreno

La preparación del suelo representa una de las fases más importantes dentro del establecimiento de cultivos hortícolas, ya que condiciona el desarrollo radicular, la disponibilidad de nutrientes y la

capacidad de retención de humedad. Este proceso comprende actividades destinadas a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. De acuerdo con Hernández y Martínez (2020), una preparación adecuada implica la eliminación de malezas, la realización de labores de labranza profunda para disminuir la compactación y la incorporación de materia orgánica que contribuya a mejorar la estructura y fertilidad del suelo. Estas acciones favorecen un ambiente óptimo para el crecimiento de las raíces y una mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes.

Siembra

La siembra constituye una práctica fundamental para el establecimiento exitoso de los cultivos hortícolas y puede efectuarse de forma directa o mediante trasplante, dependiendo de las características de la especie y de las condiciones ambientales predominantes. En la siembra directa, las semillas se depositan directamente en el terreno definitivo, mientras que el método de trasplante consiste en producir inicialmente las plántulas en viveros o almácigos para posteriormente trasladarlas al sitio de producción (Gómez et al., 2021). La selección del método más apropiado depende de factores como el tipo de cultivo, la disponibilidad de agua, las condiciones climáticas y la época de establecimiento. Asimismo, es indispensable respetar las distancias de plantación recomendadas para cada especie, con el fin de favorecer un crecimiento adecuado y reducir la competencia entre plantas.

Técnicas de siembra de hortalizas

Siembra directa

La siembra directa consiste en colocar las semillas en el lugar donde las plantas completarán su ciclo de desarrollo. Esta técnica es ampliamente utilizada en especies de rápido crecimiento, como zanahoria, rábano y espinaca, debido a que disminuye los costos asociados al trasplante y reduce el estrés fisiológico derivado de la manipulación de las plántulas, favoreciendo además una menor incidencia de enfermedades.

Siembra en almácigos o semilleros

La producción de plántulas en almácigos o semilleros permite controlar de manera más eficiente las condiciones ambientales necesarias para la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Este método es comúnmente utilizado en cultivos como tomate, chile y lechuga. Según López-Aguilar (2017), el establecimiento de plántulas en ambientes controlados favorece una germinación uniforme, el desarrollo de plantas más vigorosas y una mayor tasa de supervivencia después del trasplante.

Siembra en camas

Las camas elevadas constituyen una alternativa técnica que mejora las condiciones de drenaje y aireación del suelo. Esta práctica resulta particularmente beneficiosa en terrenos con problemas de

exceso de humedad o en regiones con elevados niveles de precipitación. Además, facilita las labores de manejo agronómico y contribuye al control de malezas (Hendrickson & Olson, 2018).

Factores determinantes en la producción de hortalizas

Condiciones edáficas

Las características físicas y químicas del suelo desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de los cultivos hortícolas. Un suelo con adecuada estructura, buen drenaje, aireación suficiente y niveles óptimos de pH favorece el crecimiento radicular y la absorción eficiente de nutrientes. Asimismo, la incorporación de materia orgánica contribuye significativamente al mantenimiento de la fertilidad y a la capacidad de retención de agua del suelo (Altieri, 2019).

Clima y época de cultivo

Las distintas especies hortícolas presentan requerimientos específicos en cuanto a temperatura, humedad relativa y radiación solar. Por ello, la selección adecuada de los cultivos debe realizarse considerando las condiciones climáticas locales y la estación de crecimiento. Estos factores influyen directamente en procesos fisiológicos como la germinación, el crecimiento vegetativo, la floración y la producción (Gliessman, 2021).

Rotación de cultivos

La rotación de cultivos constituye una práctica agroecológica orientada a diversificar las especies cultivadas en una misma superficie a lo largo del tiempo. Esta estrategia contribuye a interrumpir ciclos biológicos de plagas y enfermedades, mejorar la estructura del suelo y optimizar el aprovechamiento de nutrientes, fortaleciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Gómez-Luna & Rodríguez-Castillo, 2020).

Manejo agroecológico de hortalizas

Uso de abonos orgánicos

Dentro de los principios de la agroecología, el empleo de fertilizantes orgánicos representa una alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo. Materiales como la composta, el estiércol y los biofertilizantes aportan nutrientes esenciales y favorecen la actividad biológica del suelo. Además, incrementan la biodiversidad edáfica y fortalecen la capacidad de las plantas para tolerar condiciones adversas y el ataque de organismos nocivos (Altieri, 2019).

Control biológico de plagas

El control biológico constituye una estrategia basada en la utilización de organismos benéficos para regular las poblaciones de plagas. Entre estos organismos se encuentran insectos depredadores, parasitoides y microorganismos entomopatógenos. De acuerdo con Gliessman (2021), esta práctica

disminuye la dependencia de plaguicidas químicos y reduce los riesgos ambientales y sanitarios asociados a su uso.

Asociación de cultivos

La asociación de cultivos consiste en establecer diferentes especies vegetales en un mismo espacio con el propósito de aprovechar las interacciones ecológicas favorables entre ellas. Un ejemplo tradicional es la asociación entre maíz, frijol y calabaza, donde cada especie desempeña funciones complementarias que favorecen la productividad y estabilidad del sistema agrícola (Hendrickson & Olson, 2018).

Conservación del agua

La conservación eficiente del recurso hídrico constituye un aspecto esencial para la sostenibilidad de los sistemas hortícolas. Para ello, se implementan estrategias orientadas a maximizar la eficiencia del uso del agua, tales como el riego por goteo, la incorporación de materia orgánica al suelo, el uso de coberturas vegetales y la selección de variedades con mayor tolerancia al déficit hídrico. Estas prácticas contribuyen a reducir pérdidas por evaporación y mejoran la disponibilidad de agua para los cultivos, aspecto particularmente relevante ante los escenarios de escasez hídrica derivados del cambio climático (Gliessman, 2021).

Labores culturales

Las labores culturales comprenden un conjunto de actividades realizadas durante el ciclo de cultivo con el propósito de garantizar un crecimiento adecuado y una producción de calidad. Entre estas actividades destacan el riego, el control de malezas, la fertilización, el manejo fitosanitario y la poda. Ruiz et al. (2019) señalan que el suministro adecuado de agua resulta esencial para mantener el equilibrio fisiológico de las plantas, evitando tanto déficits como excesos que puedan afectar el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Asimismo, el manejo integrado de plagas se ha consolidado como una estrategia fundamental dentro de las labores culturales modernas. Esta metodología integra medidas biológicas, culturales, mecánicas y químicas para mantener las poblaciones de plagas por debajo de los umbrales económicos de daño, minimizando simultáneamente los impactos negativos sobre el ambiente (López y Torres, 2020).

Elaboración de composta

La producción de composta constituye una práctica clave dentro de los sistemas agrícolas sostenibles, ya que permite el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante procesos de descomposición biológica controlada. El producto obtenido se caracteriza por su riqueza en nutrientes y su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Sánchez y Pérez (2021) indican

que la composta incrementa la capacidad de retención de humedad, mejora la estructura edáfica y aporta nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos. El proceso de compostaje involucra la degradación aeróbica de materiales orgánicos como restos vegetales, estiércol y residuos domésticos, generando una enmienda orgánica de alto valor agronómico.

Cosecha

La cosecha representa la etapa final del proceso productivo y debe realizarse en el momento fisiológico adecuado para garantizar la calidad comercial y nutricional de las hortalizas. Navarro y Gómez (2020) señalan que la determinación del momento óptimo de cosecha depende de diversos factores, entre ellos el grado de madurez del producto, su destino comercial y las condiciones ambientales prevalecientes. Además, la recolección debe efectuarse con cuidado para evitar daños mecánicos que puedan afectar la calidad y vida útil de los productos cosechados.

En conjunto, las diferentes etapas involucradas en la producción de hortalizas conforman un sistema integral donde cada práctica agronómica contribuye al éxito productivo y a la sostenibilidad del agroecosistema. La adecuada implementación de técnicas de siembra, manejo agroecológico, labores culturales y aprovechamiento de recursos orgánicos favorece una producción eficiente, rentable y ambientalmente responsable.

Descripción de las actividades desarrolladas en campo

Preparación del terreno

Durante la segunda semana del mes de agosto se llevaron a cabo las actividades relacionadas con la preparación del terreno destinado al establecimiento de las hortalizas. Esta etapa se desarrolló mediante una preparación del suelo con el propósito de generar condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se realizaron labores de labranza que permitieron remover y airear el suelo, favoreciendo la mejora de su estructura física y optimizando la capacidad de retención de agua y nutrientes necesarios para el desarrollo vegetal.

Adicionalmente, se incorporaron enmiendas orgánicas, principalmente composta y estiércol de origen animal, con la finalidad de incrementar la fertilidad del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, contribuyendo así al establecimiento de un sistema productivo más sostenible.

Siembra

Posteriormente, se efectuó la siembra de las diferentes especies hortícolas incluidas en el proyecto. Dependiendo de los requerimientos de cada cultivo, las semillas fueron establecidas directamente en camas de siembra o en almácigos previamente acondicionados. En aquellos cultivos donde la siembra directa resultó más conveniente, como cilantro, pipián y rábano, las semillas fueron colocadas

directamente en el terreno definitivo, garantizando una adecuada distribución espacial para favorecer su desarrollo y productividad.

Riego

Con el objetivo de mantener condiciones óptimas de humedad durante el ciclo de cultivo, se implementó un programa de riego acorde con los requerimientos fisiológicos de las plantas. Se empleó principalmente el sistema de riego por goteo, debido a su elevada eficiencia en el uso del agua y a su capacidad para suministrar humedad de manera localizada, reduciendo pérdidas por evaporación y escurrimiento.

Asimismo, en determinadas especies hortícolas de hoja se utilizó el sistema de riego por aspersión para proporcionar la humedad necesaria al follaje, especialmente durante periodos caracterizados por temperaturas elevadas.

Control de malezas

Durante todo el ciclo productivo se realizaron actividades periódicas de deshierbe con el propósito de minimizar la competencia por agua, nutrientes y espacio entre las malezas y los cultivos establecidos. Esta labor se efectuó manualmente, retirando cuidadosamente las plantas indeseables para evitar daños mecánicos en las hortalizas y favorecer su adecuado crecimiento.

Fertilización

A lo largo del desarrollo de los cultivos se implementaron estrategias de nutrición vegetal orientadas a garantizar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas. Se priorizó el uso de fertilización orgánica mediante la aplicación de composta y estiércol de origen animal, promoviendo así la mejora de la fertilidad del suelo y la sostenibilidad del sistema de producción.

Manejo de plagas y enfermedades

Como parte de las actividades de manejo fitosanitario, se realizaron monitoreos constantes para detectar oportunamente la presencia de plagas y enfermedades. Cuando se identificaron organismos potencialmente dañinos, se implementaron estrategias de control biológico mediante el uso de enemigos naturales que permitieron regular sus poblaciones de manera sostenible.

En situaciones específicas donde fue necesario reforzar el control, se aplicaron extractos vegetales con propiedades insecticidas y repelentes, minimizando el uso de productos químicos sintéticos. Antes de la realización de estas actividades, se brindó capacitación a los estudiantes sobre la importancia del uso adecuado del equipo de protección personal y la correcta calibración de las bombas de aspersión, fortaleciendo las competencias relacionadas con la seguridad laboral y las Buenas Prácticas Agrícolas.

Cosecha

La recolección de las hortalizas se efectuó de manera manual cuando los productos alcanzaron su estado óptimo de madurez fisiológica y comercial. Esta actividad se realizó cuidadosamente para preservar la calidad de los productos obtenidos y evitar daños mecánicos que pudieran afectar su valor comercial o nutricional.

RESULTADOS

Fortalecimiento del aprendizaje teórico y práctico

La implementación de actividades relacionadas con las Buenas Prácticas Agrícolas en estudiantes de Agronomía generó resultados altamente favorables en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Uno de los principales logros observados fue el fortalecimiento de los conocimientos teóricos y prácticos relacionados con la agricultura sostenible.

Los estudiantes ampliaron significativamente su comprensión acerca de conceptos fundamentales como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas, la conservación del suelo y el uso eficiente del recurso hídrico. Este aprendizaje trascendió el ámbito conceptual, permitiendo que los alumnos aplicaran dichos conocimientos directamente en las actividades desarrolladas en campo.

Desarrollo de habilidades técnicas y capacidad de resolución de problemas

La participación en las actividades agrícolas permitió a los estudiantes desarrollar competencias técnicas relacionadas con la preparación del terreno, la siembra, el manejo del riego y las labores culturales necesarias para la producción hortícola.

Enfrentaron diversas situaciones asociadas a la práctica agrícola, tales como la identificación de plagas, la detección de deficiencias nutricionales y la administración eficiente del agua. La resolución de estos desafíos fortaleció habilidades de análisis, pensamiento crítico y capacidad de adaptación, competencias fundamentales para el ejercicio profesional en las ciencias agronómicas.

Incremento de la conciencia ambiental y compromiso con la sostenibilidad

Otro resultado relevante fue el fortalecimiento de la conciencia ambiental de los participantes. A través de la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas, los estudiantes comprendieron de manera más profunda la relación existente entre las actividades agrícolas y la conservación de los recursos naturales.

Esta experiencia contribuyó al desarrollo de actitudes favorables hacia la protección del medio ambiente y al reconocimiento de la importancia de implementar sistemas de producción compatibles con los principios de sostenibilidad ambiental.

Fortalecimiento de valores y trabajo colaborativo

La ejecución de las actividades agrícolas promovió también el desarrollo de valores relacionados con la responsabilidad, la disciplina y el trabajo en equipo. Los estudiantes participaron activamente en la planificación, ejecución y seguimiento de las diferentes actividades, asumiendo compromisos individuales y colectivos para el logro de los objetivos planteados.

La interacción constante entre compañeros favoreció el aprendizaje colaborativo, la toma de decisiones conjunta y el fortalecimiento de habilidades sociales necesarias para el desempeño profesional dentro del sector agropecuario.

CONCLUSIONES

La implementación de actividades relacionadas con la producción de hortalizas bajo el enfoque de Buenas Prácticas Agrícolas constituyó una experiencia educativa integral que generó beneficios significativos en los ámbitos académico, ambiental y social. Los estudiantes fortalecieron conocimientos técnicos y desarrollaron habilidades prácticas esenciales para su formación profesional, al tiempo que adquirieron una mayor sensibilidad hacia la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Las Buenas Prácticas Agrícolas representan una estrategia fundamental para promover modelos de producción que armonicen la eficiencia económica con la conservación ambiental y el bienestar social. Su adopción contribuye de manera significativa a enfrentar problemáticas globales como el cambio climático, la degradación de los recursos naturales y la necesidad creciente de garantizar la seguridad alimentaria de la población.

La aplicación de estas prácticas favorece la producción de alimentos inocuos y de calidad, fortaleciendo la competitividad del sector agrícola y mejorando las condiciones de vida de los productores y las comunidades rurales.

La producción de hortalizas requiere la integración de conocimientos agronómicos, ecológicos y socioeconómicos que permitan optimizar el uso de los recursos disponibles y garantizar la sostenibilidad de los agroecosistemas. En este contexto, la implementación de técnicas adecuadas de siembra, manejo agroecológico, conservación del agua, fertilización orgánica y manejo integrado de plagas constituye un elemento indispensable para alcanzar sistemas agrícolas resilientes y ambientalmente responsables.

Finalmente, la actividad desarrollada permitió demostrar que la enseñanza de las Buenas Prácticas Agrícolas mediante actividades teórico-prácticas fortalece la formación integral de los estudiantes de

Agronomía, preparándolos para enfrentar los retos actuales y futuros del sector agropecuario desde una perspectiva sustentable, innovadora y comprometida con la conservación del medio ambiente.

REFERENCIAS

Altieri, M. A. (2019). *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Editorial Nordan.

Altieri, M. A. (2002). *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Westview Press.

Biénabe, E., & Sautier, D. (2005). *The role of small scale producers' organizations to address market access*. Centro de Investigación Agrícola Tropical.

FAO. (2016). *Good Agricultural Practices for Sustainable Agriculture and Improved Livelihoods*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Flint, M. L., & van den Bosch, R. (2012). *Introduction to Integrated Pest Management*. Springer.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). *Save and Grow: A policy maker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. FAO.

Gliessman, S. R. (2021). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. Boca Raton: CRC Press.

Global G.A.P. (2021). *Good Agricultural Practices (G.A.P.) for Global G.A.P. Integrated Farm Assurance (IFA) Version 5.3*. Global G.A.P.

Gómez, L., Fernández, J., & López, M. (2021). Prácticas de siembra y trasplante en hortalizas de clima templado. Revista de Agricultura Moderna, 45(2), 78-85. https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.03.003.

Gómez-Luna, M., & Rodríguez-Castillo, R. (2020). Rotación de cultivos y manejo de suelos en sistemas agroecológicos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Gutiérrez, A. (2018). Uso racional de agroquímicos en la agricultura moderna. Editorial Agrícola.

Hanson, J., Dismukes, R., Chambers, W., Greene, C., & Kremen, A. (2017). *Risk and risk management in organic agriculture: Views of organic farmers*. Renewable Agriculture and Food Systems, 22(3), 248-259.

Hendrickson, J., & Olson, K. (2018). *Raised Bed Gardening Techniques: Growing in Raised Beds for Better Vegetables*. New York: Hachette.

Hernández, R., & Martínez, P. (2020). *Preparación del terreno para la siembra de cultivos hortícolas*. AgroCiencia, 24(1), 33-40. https://doi.org/10.1016/j.agro.2020.02.001.

ILO. (2017). *Safe Work for Youth in Agriculture: Good Practices*. International Labour Organization.

López-Aguilar, F. (2017). *Manejo de semilleros en la producción de hortalizas*. Ciudad de México: Trillas.

López, A., & Torres, E. (2020). *Manejo integrado de plagas en cultivos hortícolas: Estrategias y prácticas sostenibles*. Agronomía y Ambiente, 16(3), 115-124. https://doi.org/10.1016/j.agriam.2020.05.007.

Navarro, C., & Gómez, A. (2020). *Cosecha y postcosecha de hortalizas: Buenas prácticas para la preservación de la calidad*. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 39(4), 251-259. https://doi.org/10.1016/j.cital.2020.07.005.

Orozco, J., Castellanos, S., & Navarro, F. (2017). *Buenas prácticas agrícolas: Una oportunidad para la agricultura sostenible*. Revista de Agricultura Sostenible, 4(2), 98-112.

Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2018). *Sustainable intensification in African agriculture*. International Journal of Agricultural Sustainability, 9(1), 5-24.

Rodríguez, J. (2019). *Desafíos en la implementación de buenas prácticas agrícolas en Latinoamérica*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ruiz, J., González, H., & Díaz, M. (2019). *Estrategias de riego en la producción de hortalizas bajo condiciones de cambio climático*. Agricultura y Agua, 12(2), 65-72. https://doi.org/10.1016/j.agua.2019.02.004.

Sánchez, F., & Pérez, L. (2021). Elaboración de composta*: Principios y beneficios en la producción hortícola sostenible*. Ecología Agrícola, 28(1), 92-99. https://doi.org/10.1016/j.ecolagri.2021.01.007

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). *Global food demand and the sustainable intensification of agriculture*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(50), 20260-20264.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES KPI EN SIMULACROS TIPO SISMO DE EVACUACIÓN INSTITUCIONAL SEPTIEMBRE 2025 Y MAYO 2026 EN EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO - VERACRUZ

Luis Moisés Alonso López[1]
Jesús Javier Saucedo Cisneros[2]
Nora Lucía García Castañeda[3]

RESUMEN

Los simulacros tipo sismo de evacuación son una herramienta fundamental para fortalecer la capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo en el Tecnológico Nacional de México - Veracruz. Sin embargo, frecuentemente su ejecución se centra únicamente en el cumplimiento normativo, dejando de lado el análisis comparativo de los resultados obtenidos.

En este contexto, el presente caso propone como valor agregado la utilización de indicadores clave de desempeño (KPI) para evaluar objetivamente la efectividad de los simulacros y contribuir a la mejora continua aplicando el Procedimiento de Respuesta ante Emergencias (TecNM-GA-PR-08).

Este caso plantea un análisis comparativo de dos simulacros en el Tecnológico Nacional de México – Veracruz, programados en septiembre de 2025 y mayo de 2026, utilizando KPI previamente establecidos en los formatos del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) multisitios del Tecnológico Nacional de México.

Los indicadores considerados incluyen tiempos de respuesta, participación del personal, cumplimiento de protocolos, uso de equipo y mobiliario de emergencia, así como la ubicación y funcionamiento de los puntos de reunión. La recopilación de información se plantea mediante reuniones de preparación, seguimiento y evaluación posteriores a cada simulacro, complementadas con la observación de las actividades operativas realizadas.

Palabras claves: Simulacro tipo sismo, KPI, análisis comparativo

INTRODUCCIÓN

Los simulacros de evacuación representan una de las principales herramientas preventivas para fortalecer la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia dentro de instituciones

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. luis.al1@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. jesus.sc@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. nora.gc@veracruz.tecnm.mx

educativas y organizaciones públicas. En México, este tipo de ejercicios forma parte de las estrategias establecidas en materia de protección civil y seguridad institucional, permitiendo evaluar la preparación de la comunidad ante fenómenos naturales, particularmente aquellos relacionados con eventos sísmicos.

La realización de simulacros tipo sismo adquiere especial relevancia debido a la vulnerabilidad existente en diversas regiones del país y a la necesidad de fomentar una cultura de prevención orientada a salvaguardar la integridad de las personas. En este sentido, las instituciones educativas no solo deben cumplir con las disposiciones normativas aplicables, sino también implementar mecanismos que permitan analizar de manera objetiva el desempeño obtenido durante estos ejercicios.

No obstante, en muchos casos la evaluación de los simulacros se limita únicamente al cumplimiento de protocolos y actividades previamente establecidas, dejando de lado el análisis cuantitativo de los resultados obtenidos. Esta situación dificulta la identificación de áreas de oportunidad y limita el diseño de estrategias de mejora continua orientadas al fortalecimiento de la capacidad de respuesta institucional.

Ante esta situación, surge la necesidad de incorporar herramientas de medición que permitan evaluar el desempeño operativo de los simulacros mediante indicadores clave de desempeño (KPI). El uso de KPI facilita el análisis comparativo de variables relacionadas con tiempos de respuesta, participación del personal, cumplimiento de protocolos, uso de equipo y mobiliario de emergencia, así como la ubicación y funcionamiento de los puntos de reunión.

En el caso del Tecnológico Nacional de México, los simulacros forman parte de las actividades contempladas dentro del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) multisitios y del Procedimiento de Respuesta ante Emergencias (TecNM-GA-PR-08, 2017), el cual establece lineamientos para la preparación y atención de situaciones de emergencia dentro de las instituciones pertenecientes al sistema.

Por ello, el presente artículo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de indicadores KPI aplicados a dos simulacros tipo sismo de evacuación institucional programados en septiembre de 2025 y mayo de 2026 en el Tecnológico Nacional de México – Veracruz. A través de este análisis se busca identificar fortalezas, áreas de oportunidad y variaciones en el desempeño institucional, aportando evidencia objetiva que contribuya a la mejora continua de los programas de protección civil y seguridad institucional.

MARCO TEÓRICO

De acuerdo con el Tecnológico Nacional de México (2026), el Sistema de Gestión Ambiental (SGA) bajo un esquema multisitios integra 35 institutos tecnológicos y 3 centros pertenecientes al sistema nacional, con la finalidad de establecer lineamientos y procedimientos orientados a la prevención de impactos ambientales, el cumplimiento de requisitos legales y la mejora continua del desempeño ambiental institucional.

El SGA del TecNM se encuentra alineado con los requisitos de la norma ISO 14001:2015, permitiendo establecer mecanismos para la identificación de aspectos ambientales, control operacional, respuesta ante emergencias, seguimiento del desempeño y evaluación del cumplimiento ambiental. El Manual del Sistema de Gestión Ambiental señala que el sistema contempla procesos documentados que buscan asegurar la correcta implementación de prácticas ambientales dentro de las instituciones participantes (Tecnológico Nacional de México, 2017a).

Dentro del modelo multisitios, el SGA se compone de 8 procedimientos institucionales identificados mediante códigos estandarizados “TecNM-GA-PR”, los cuales establecen las actividades, responsabilidades y registros necesarios para la operación del sistema ambiental. Entre los principales procedimientos se encuentran la identificación de aspectos ambientales, evaluación de requisitos legales, comunicación del SGA, control operacional del consumo de agua y energía eléctrica, manejo de residuos peligrosos, manejo integral de residuos sólidos urbanos, respuesta ante emergencias y competencia y toma de conciencia.

El Procedimiento de Respuesta ante Emergencias (TecNM-GA-PR-08) adquiere especial relevancia dentro del presente estudio, debido a que establece los lineamientos para identificar riesgos potenciales ambientales y atender situaciones de emergencia dentro de las instalaciones institucionales. Dicho procedimiento contempla actividades relacionadas con simulacros, evaluación de emergencias, identificación de riesgos y elaboración de programas anuales de simulacros. Asimismo, el procedimiento establece la necesidad de realizar pruebas periódicas y evaluar la eficacia de las acciones implementadas para fortalecer la preparación institucional y promover la mejora continua de los mecanismos de protección civil y seguridad (Tecnológico Nacional de México, 2017b).

En el caso del Tecnológico Nacional de México – Veracruz, la implementación del SGA multisitios permite integrar actividades relacionadas con simulacros institucionales, evaluación de riesgos y acciones preventivas dentro de un sistema documentado y estandarizado. Esto facilita la utilización de indicadores clave de desempeño (KPI) para evaluar objetivamente los resultados obtenidos durante los simulacros tipo sismo y generar evidencia cuantitativa orientada a la mejora continua institucional,

tal como lo establecen los lineamientos generales del Sistema de Gestión Ambiental del TecNM (Tecnológico Nacional de México, 2026).

Key Performance Indicator (KPI)

De acuerdo con Parmenter (2020), los indicadores clave de desempeño, conocidos como KPI por sus siglas en inglés Key Performance Indicators, constituyen herramientas de medición utilizadas para evaluar el nivel de cumplimiento de objetivos dentro de una organización, proceso o actividad específica. Los KPI permiten transformar información operativa en datos cuantificables que facilitan la toma de decisiones, el monitoreo de resultados y la implementación de estrategias de mejora continua. Los KPI son métricas diseñadas para medir el desempeño de procesos críticos mediante variables previamente definidas y alineadas con los objetivos institucionales. Su aplicación es común en áreas como administración, producción, logística, seguridad industrial, gestión ambiental y protección civil, debido a que permiten evaluar el comportamiento de diferentes procesos de manera objetiva y sistemática. En este sentido, Kaplan y Norton (1996) señalan que los indicadores de desempeño permiten traducir los objetivos estratégicos en parámetros medibles que facilitan el seguimiento organizacional.

Una de las principales ventajas de los KPI consiste en la posibilidad de comparar resultados entre diferentes periodos o escenarios, permitiendo identificar tendencias, desviaciones y áreas de oportunidad. En el caso de los simulacros de emergencia, el uso de indicadores facilita evaluar aspectos relacionados con tiempos de respuesta, participación del personal, cumplimiento de protocolos, funcionamiento de puntos de reunión y utilización de equipo de emergencia. Asimismo, Simons (2000) menciona que los sistemas de medición del desempeño permiten generar información objetiva para fortalecer los procesos de control y mejora continua dentro de las organizaciones.

Los KPI deben cumplir ciertas características para garantizar su efectividad. Entre las principales se encuentran:

- Ser medibles y cuantificables.
- Estar alineados con los objetivos organizacionales.
- Ser comprensibles y fáciles de interpretar.
- Permitir el seguimiento periódico.
- Generar información útil para la toma de decisiones.

Asimismo, diversos autores señalan que los indicadores de desempeño deben construirse bajo criterios de relevancia y confiabilidad, de manera que reflejen de forma precisa el comportamiento del proceso evaluado. La correcta selección de KPI permite obtener evidencia objetiva para evaluar la eficiencia y eficacia de las actividades desarrolladas (Parmenter, 2020).

TIPOS DE KPI

Los KPI pueden clasificarse de acuerdo con el objetivo de medición y el tipo de información que proporcionan. Entre los principales tipos de KPI se encuentran los que se pueden observar en la Tabla 1:

Tabla 1. Tipos de KPI

Tipo	Descripción
Eficiencia	Miden la relación entre los recursos utilizados y los resultados obtenidos. Permiten evaluar qué tan adecuadamente se emplean los recursos disponibles para desarrollar una actividad.
Eficacia	Evalúan el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos. Se enfocan en determinar si las metas propuestas fueron alcanzadas.
Calidad	Permiten medir el nivel de cumplimiento de estándares y procedimientos establecidos dentro de un proceso.
Preventivo	Se utilizan para anticipar posibles fallas o riesgos antes de que ocurra una situación no deseada.
Reactivo	Evalúan resultados obtenidos después de que ocurre un evento o actividad específica.
Estratégico	Se relacionan con los objetivos generales de la organización y permiten evaluar el desempeño institucional a largo plazo.

Fuente: Elaboración propia con base en Parmenter (2020), Kaplan y Norton (1996) y Simons (2000).

MARCO NORMATIVO

Para la realización de simulacro se toma como referencia la “Guía Práctica de Simulacros de Evacuación de Inmuebles” (STPS, 2010) donde se consideran los siguientes puntos:

Brigada Interna de Protección Civil

Se contempla la Organización y personal, Equipo para la emergencia, Organización Interna, Actividades, Responsable del inmueble, Brigadistas, Capacitación de brigadistas y usuarios, Concientización y motivación de los participantes.

Planeación del simulacro

Es fundamental para garantizar una adecuada respuesta ante situaciones de emergencia. Este proceso considera las características del inmueble y los puntos de reunión. Asimismo, contempla la participación de la comunidad, la identificación de áreas de seguridad y la determinación de rutas de evacuación y salidas de emergencia. También se establecen sistemas de alarma y señalética acordes a las condiciones institucionales. Como parte de la preparación, se realizan simulacros de gabinete y se establece el objetivo y diseño del escenario. Todo ello permite fortalecer la capacidad de respuesta y la cultura de prevención dentro de la institución.

CONTEXTUALIZACIÓN

Se reciben las convocatorias emitidas por el Gobierno Federal para la participación en los Simulacros Nacionales. Como parte de las actividades de preparación para la atención de esa convocatoria se procedió a integrar la brigada de apoyo al simulacro. A través del formato "Identificación de Riesgos Potenciales Ambientales y Situaciones de Emergencia" TecNM-GA-PR-08-02 se determinaron los responsables de coordinar y supervisar las actividades propias del simulacro dentro de la institución. Asimismo, se llevaron a cabo diversas reuniones de planeación en las que se definieron aspectos relacionados con la organización del personal, el equipo requerido para la atención de emergencias y evacuación, así como la asignación de funciones y responsabilidades para cada integrante de las brigadas. De igual manera, se llevaron a cabo acciones de capacitación (Figura 1, 2 y 3), dirigida a los brigadistas: uso de extintores y primeros auxilios promoviendo la concientización en la participación y preparación de la comunidad institucional ante situaciones de emergencia.

Figura 1



Figura 2



Figura 3



Con base en la Cédula para la Evaluación de Simulacros del Gobierno del Estado de Veracruz 2024 – 2030 se registraron los siguientes datos de entrada que alimentan la evaluación del simulacro:

- Hora de llegada de la primera persona al punto de reunión
- Cantidad total de personas que llegaron al punto de reunión
- Hora de llegada de la última persona al punto de reunión

Los datos anteriores se ocupan para el llenado del formato Reporte de Evaluación de Simulacro (TecNM-GA-PR-08-04) se manejan los siguientes indicadores:

$$Tiempo\ total\ de\ desalojo = \frac{Promedio\ de\ tiempo\ de\ evacuación\ por\ punto\ de\ reunión}{Tiempo\ de\ evacuación\ estándar\ (3\ minutos)}$$

$$Porcentaje\ de\ personas\ evacuadas = \frac{Suma\ de\ personas\ evacuadas\ de\ cada\ punto\ de\ reunión}{Total\ de\ personas\ en\ el\ inmueble}$$

De acuerdo con la Guía de Simulacros de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (2010), los tiempos óptimos de evacuación dependen de las condiciones físicas del inmueble, la cantidad de población y las características operativas de la institución. Asimismo, la guía establece que un

simulacro eficiente debe realizarse en condiciones de seguridad y en el menor tiempo posible. Con base en ello, para efectos del presente estudio se adopta un tiempo de referencia institucional de 3 minutos para evaluar comparativamente el desempeño de los simulacros realizados.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Después de haberse llevado el simulacro el día 19 de septiembre de 2025 (Simulacro 1) y el 6 de mayo de 2026 (Simulacro 2) se obtuvieron los siguientes datos que se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2. Registro de datos simulacro 1 y 2

Datos		A		B		C		D	
N° Simulacro		1	2	1	2	1	2	1	2
Punto de Reunión	1	12:01	11:00	12:03	11:02	00:02	00:02	60	122
	2	12:00	11:01	12:03	11:04	00:03	00:03	110	386
	3	12:01	11:00	12:05	11:04	00:04	00:04	85	400
	4	12:00	11:01	12:03	11:10	00:03	00:09	257	200
	5	12:01	11:00	12:04	11:05	00:03	00:05	81	178
	6	12:00	10:58	12:05	11:10	00:05	00:12	258	120
	7	12:00	11:00	12:05	11:07	00:05	00:07	285	187
	8	12:01	11:00	12:04	11:03	00:03	00:03	138	145
		12:00	11:00	12:04	11:05	00:03	00:05	1274	1738
		Promedios						Total	

A. Llegada primera persona
B. Llegada última persona
C. Tiempo total
D. Cantidad de personas

Fuente: Propia.

Como se puede observar en el simulacro 1, el **Punto 7** fue donde se tuvo la mayor concentración debido a que ese día las actividades académicas se concentran en los edificios colindantes (A, B y Q). Por otra parte, el **Punto 1** fue de menor debido a que se encuentra ubicado entre dos edificios (N y M) de poca afluencia. La tabla también muestra el registro de tiempos obtenidos durante la realización de un simulacro tipo sismo, correspondientes a diferentes áreas o etapas del proceso de evacuación, estos se registraron en un rango de 2 a 5 minutos.

En el simulacro 2, el **Punto 3** presentó la mayor concentración de personas, debido a que durante esa jornada las actividades académicas se desarrollaban principalmente en los edificios colindantes (F, H, R y S). En contraste, el **Punto 6** registró una menor afluencia, ya que se localiza entre los edificios (A, U, V, W y X), los cuales presentan una baja concentración de población. Asimismo, la tabla muestra los tiempos registrados durante la ejecución del simulacro tipo sismo en distintas áreas o etapas del proceso de evacuación, observándose valores comprendidos entre 2 y 12 minutos.

A partir de los datos obtenidos durante la realización del simulacro tipo sismo, se realiza el cálculo de indicadores clave de desempeño (KPI) para evaluar la efectividad del ejercicio de evacuación. Los

indicadores permiten analizar aspectos relacionados con tiempos de respuesta, distribución de la población y funcionamiento de los puntos de reunión. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 para su análisis comparativo e identificación de áreas de oportunidad.

Tabla 3. Cálculo de indicadores

Indicador / Simulacro	Tiempo total de desalojo	Porcentaje de personas evacuadas
I. 19 de septiembre de 2025	$\frac{3.5\ min}{3\ min} = 1.1666$	$\frac{1274}{6218} = 0.2048 \approx 20.48\%$
II. 6 de mayo de 2026	$\frac{5\ min}{3\ min} = 1.6666$	$\frac{1738}{5768} = 0.3013 \approx 30.13\%$

Fuente: Propia.

La Tabla 3 muestra el cálculo de indicadores correspondientes a los simulacros realizados el 19 de septiembre de 2025 y el 6 de mayo de 2026, considerando el tiempo total de desalojo y el porcentaje de personas evacuadas respecto a la población total registrada en el inmueble. En el primer simulacro se obtuvo un tiempo de evacuación de 3.5 minutos, mientras que en el segundo se registró un tiempo de 5 minutos, observándose un aumento en el tiempo de respuesta durante el simulacro del mes de mayo de 2026.

Asimismo, el porcentaje de personas evacuadas pasó de 20.48 % en septiembre de 2025 a 30.13 % en mayo de 2026, lo que indica una mayor afluencia de población durante el segundo ejercicio. Esta variación puede estar relacionada con el día en que se desarrolló cada simulacro, debido a que generalmente los días viernes presentan menor concentración de personas en comparación con los miércoles, donde las actividades académicas y administrativas suelen registrar mayor asistencia dentro del inmueble.

De igual manera, debe considerarse que la plantilla estudiantil presenta variaciones entre los semestres agosto-diciembre (5607) y enero-julio (5157), lo cual influye directamente en la cantidad de personas presentes dentro de las instalaciones durante la realización de los simulacros. En este sentido, al existir una mayor afluencia de población se espera que los tiempos de evacuación incrementen, debido al aumento en la ocupación de rutas de evacuación, puntos de reunión y áreas de tránsito durante el proceso de desalojo.

Los resultados obtenidos también permiten identificar algunas áreas de oportunidad relacionadas con la organización y capacidad de respuesta institucional. Entre ellas destacan la necesidad de fortalecer la distribución de la población hacia los puntos de reunión, optimizar las rutas de evacuación para evitar congestionamientos y reforzar las acciones de capacitación y concientización dirigidas a la comunidad institucional. Asimismo, el incremento en los tiempos de evacuación refleja la importancia

de continuar desarrollando ejercicios periódicos que permitan mejorar la coordinación operativa y la eficiencia del proceso de desalojo ante escenarios de emergencia con alta concentración de personas. En este sentido, y con la finalidad de analizar de manera más detallada el comportamiento de los tiempos de evacuación, se presentan a continuación la gráfica de series de tiempo (Figura 4), correspondientes a los distintos puntos de reunión establecidos dentro de la institución. Estas gráficas permiten visualizar las variaciones registradas durante los simulacros de septiembre de 2025 y mayo de 2026, facilitando la comparación del desempeño operativo entre puntos de reunión, así como la identificación de tendencias y posibles áreas críticas relacionadas con la concentración de personas y el flujo de evacuación.

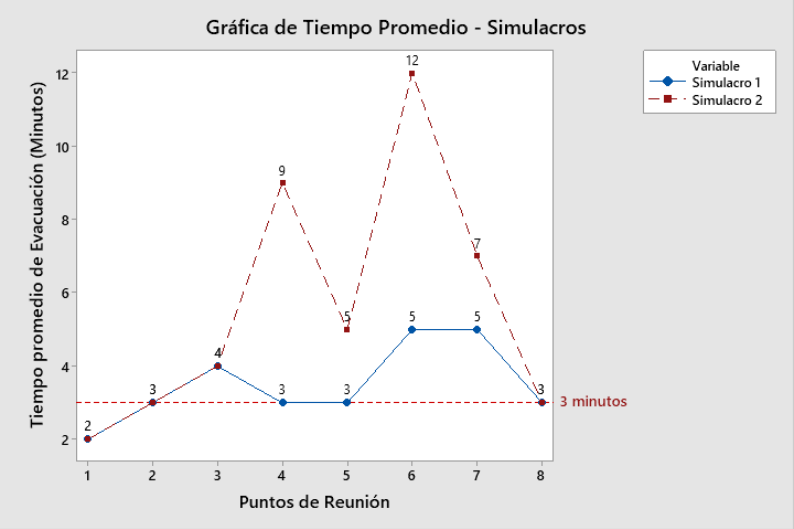


Figura 4. Gráfica de series de tiempo

Fuente: Propia

La gráfica muestra el comportamiento del tiempo promedio de evacuación registrado en cada uno de los puntos de reunión durante los simulacros realizados en septiembre de 2025 (Simulacro 1) y mayo de 2026 (Simulacro 2). Asimismo, se incorpora una línea de referencia correspondiente al tiempo estándar de evacuación de 3 minutos, permitiendo comparar el desempeño obtenido en cada punto de reunión respecto al parámetro establecido.

En el Simulacro 1 se observa un comportamiento relativamente estable, donde la mayoría de los puntos de reunión registraron tiempos cercanos al estándar, oscilando entre 2 y 5 minutos. Los puntos 6 y 7 presentaron los mayores tiempos de evacuación con 5 minutos, lo cual puede relacionarse con una mayor concentración de personas o recorridos más extensos hacia los puntos de reunión.

Por otra parte, el Simulacro 2 presenta una mayor variabilidad en los tiempos registrados, observándose incrementos significativos en algunos puntos de reunión. Destacan principalmente los puntos 4 y 6, donde se registraron tiempos de 9 y 12 minutos respectivamente, superando

considerablemente el tiempo de referencia establecido. Esta situación puede asociarse a una mayor afluencia de personas, congestión en las rutas de evacuación o dificultades operativas durante el proceso de desalojo.

En términos generales, la gráfica permite identificar que el incremento en la población evacuada durante el segundo simulacro tuvo un impacto directo en los tiempos de respuesta, evidenciando áreas de oportunidad relacionadas con la distribución de personas, optimización de rutas y fortalecimiento de la coordinación operativa en puntos de reunión con mayor concentración poblacional.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los simulacros tipo sismo realizados en los meses de septiembre de 2025 y mayo de 2026 en el Tecnológico Nacional de México – Veracruz permitió identificar la utilidad de los indicadores clave de desempeño (KPI) como herramienta para evaluar los ejercicios de evacuación institucional. Los resultados obtenidos demuestran que la incorporación de indicadores facilita el análisis del comportamiento operativo durante los simulacros, complementando el enfoque basado en el cumplimiento normativo.

Los indicadores aplicados permitieron analizar variables relacionadas con tiempos de evacuación, concentración de personas, funcionamiento de los puntos de reunión y capacidad de respuesta institucional. Asimismo, se observó que factores como el día y hora de realización del simulacro, la afluencia de personas y las variaciones en la matrícula estudiantil entre semestres influyen directamente en los tiempos de desalojo y en el comportamiento de las rutas de evacuación.

Asimismo, se reafirma el compromiso constante del Tecnológico Nacional de México – Veracruz por continuar realizando simulacros de manera periódica, con el propósito de fortalecer la cultura de prevención, optimizar la capacidad de respuesta institucional y mejorar continuamente los indicadores de desempeño relacionados con los procesos de evacuación y atención de emergencias.

REFERENCIAS

The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business School Press.

Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs Parmenter, D. (2020). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs (4th ed.). Wiley.

Secretaría de Educación de Veracruz. (2025). Programa sectorial de educación: Anexo 17. Gobierno del Estado de Veracruz. Anexo 17 PSEE Veracruz

Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2010). Guía de simulacros. Gobierno de México. Guía de simulacros STPS

Performance Measurement and Control Systems for Implementing Strategy Simons, R. (2000). Performance measurement and control systems for implementing strategy. Prentice Hall.

Tecnológico Nacional de México. (2017a). Manual del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001:2015.

Tecnológico Nacional de México. (2017b). Procedimiento de respuesta ante emergencias (TecNM-GA-PR-08).

Tecnológico Nacional de México. (2026). Sistema de Gestión Ambiental del Tecnológico Nacional de México. Sistema de Gestión Ambiental TecNM

ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA LECHE EN LA ZONA SUR DE LA CIUDAD DE COATZACOALCOS VERACRUZ.

Juan Francisco Gómez Valencia[1]
Gustavo Solano Silva[2]
Patricia Uscanga Sánchez[3]

RESUMEN

La leche es uno de los componentes importantes por ser un recurso emblemático, para la nutrición en nuestras familias, por ende, la materia prima debe contar con condiciones adecuadas para el proceso de comercialización, siguiendo esta misma temática, en este estudio se nos revela, que los ganaderos no tienen estandarizados sus buenas prácticas, en cuanto al proceso de ordeña, comentando que este punto es relevante, ya que puede presentar inconvenientes, en el proceso de comercialización, antes de ir a su procesamiento, y una forma de concretar es, sugerir que, incursionen en el uso de tecnología, para determinar de forma rápida y precisa los análisis físicos, con el equipo ekomilk, por ser barato y de fácil acceso, con la bondad que efectúa mediciones en 45 segundos, en estos términos se efectúa un análisis de diseño de superficie de respuesta, a tres leches, santa clara, Lala, Nutri leche, donde se especifica que el parámetro más importante que se midió, fue la proteína, en cuanto a que genera aspectos a la salud y una mejor remuneración, puesto que al realizar el análisis, los resultados evidencian que Lala, es la leche con mejor contenido proteico, por su composición, y Nutri leche, Santa Clara mermaron, por último la finalidad de este informe es explorar, cuales parámetros están fuera de especificación según las NOM, lo cual resulta evidente para restructurar sus buenas prácticas, y como resultado una buena retribución, antes de que sea transportada a la empresa para su procesamiento, lo que coadyuvaría al sustento de muchas familias mexicanas dedicadas a este rubro.

Palabras clave*:* Factores, Técnicas, Ekomilk, Rubro, Efectividad.

INTRODUCCIÓN

En México, la leche cruda que se oferta en forma caliente o fría, directamente al consumidor, al autoconsumo o queserías artesanales, se abastece de un sistema de producción basado en pequeñas

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos. jgomezv@itesco.edu.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos. gsolanos@itesco.edu.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos. puscangas@itesco.edu.mx

granjas lecheras periurbanas con amplia variación en el nivel de producción, manejo de la ordeña y prácticas sanitarias (Cervantes, 2001). La leche de vaca es una fuente balanceada de la mayoría de los requerimientos dietéticos del hombre, faltándole solo hierro y parte del ácido ascórbico, contiene proteínas de alta calidad. (Gattás,2001).

Según Álvarez,(2012), La calidad de la leche cruda puede deteriorarse debido a un manejo inadecuado de los utensilios de ordeño, transporte o adulteración (grasas, sales, agua, entre otros), aumentando la carga bacteriana y propiciando propiedades indeseables de acidez, rancidez o agriado (Alaís 1985, Bath y col 1985, Jensen 1995).

La ración diaria de 1/2 litro de leche suministra unos 15 gramos de proteínas (Gattás,2001).

Componentes lipídicos en la leche

La concentración lipídica y la composición de los ácidos grasos en la leche, presentan diferencias entre una y otra especie (Bauman,2006). La grasa láctea está presente como glóbulos microscópicos en una emulsión de lípidos y agua.

La grasa de la leche de vaca es considerada como una de las grasas más complejas de origen natural, debido a la gran cantidad de ácidos grasos con diferentes estructuras bioquímicas, peso molecular, y grado de insaturación (Harvatine, 2009).

Componentes proteicos en la leche

La composición de la proteína es un factor de gran importancia dentro de la industrialización láctea, ya que influye de manera directa sobre el rendimiento y la aptitud tecnológica de la leche. La leche de vaca presenta un contenido proteico que oscila entre el 3 y el 4 %, distinguiendo tres categorías para el nitrógeno proteico: 1) las caseínas, 2) las proteínas del lactosuero, y 3) las proteínas de la membrana del glóbulo graso (tabla II) (Swaisgood, 2003).

Las caseínas constituyen alrededor del 78 % de las proteínas lácteas, se precipitan cuando se acidifica la leche a un pH de 4.6, y se encuentran unidas principalmente con fosfato de calcio $Ca_3(PO_4)_2$ en una estructura sólida y esponjosa llamada micela (Farrell Jr. et al., 2006; Ferrandini, 2006).

La finalidad de obtener alimentos inocuos y con excelentes contenidos nutricionales, resultaría uno de los objetivos más imprescindibles, para que todas las personas, satisfagan sus necesidades y preferencias alimentarias, sin embargo se pueden reconocer problemas de buenas prácticas de higiene y seguridad en los alimentos, o estilos de comportamientos negligentes y malas prácticas, por ello resultaría beneficio establecer criterios y directrices encaminadas a implantar competencias tecnológicas, con seguridad y estricto control, al tener esta visión nosotros como consumidores tengamos un amplio criterio, a la hora de elegir sus alimentos, (Bordón González, 2012).

Puesto que es importante el consumo de la leche cruda, por ser un alimento muy usual de consumir, existen factores que pueden afectar directamente como la contaminación bacteriana, forma parte, muy usual de estar en los establos, por consiguiente, son seguras de contener, mayor carga microbiana, por lo que los riesgos y los desafíos, revelan la mala salud pública y puede mermar en la economía de cualquier país (Molina Sánchez , 2019).

Una de las perspectivas de mejorar los aspectos tradicionales en dicha zona , es creando mejores oportunidades en cuanto a tecnología, por ello una innovación con equipos para análisis físicos, el impacto sería, para biológicos y químicos, puesto que es complejo, por lo que resultaría complicado hablar de calidad y estandarización de las buenas prácticas, porque esto requiere de la focalización de muchos sectores, para mirar hacia la misma opinión, de implementar programas que incluyan los conceptos presentados, sobre capacitación, lo que, contribuirá a estimular el conocimiento y el procedimiento, para mejorar la calidad de la leche y la perspectiva como actividad económica viable, de las más alta relevancia para la salud. (González Cu, 2010).

Debido a esta ecología de saberes, se desarrolló un proyecto cuya fin es analizar tres leches comerciales, con el equipo de laboratorio, obteniendo resultados en tiempos reales, y confiables, que es una manera somera, de innovar con el equipo tecnológico ekomil, en el sector ganadero, a nivel macro y micro para las buenas prácticas, los equipos son prácticos y fáciles de operar, para detección de los componentes químicos que posee la materia prima, la visión es acrecentar su proceso de comercialización, con objeto de buscar un aumento de producción y visualización a maximizar la producción en cuanto a costo beneficio, ya para finalizar después de corrido el experimento se eligió un diseño de superficie de respuesta, donde la finalidad era encontrar si existe o no diferencias significativas, entre las medias, lo que dictamina que existen ligeras diferencias significativas, una vez realizada la parte experimental se establecieron las siguientes hipótesis

Ho: las marcas no influyen en su composición de la leche.

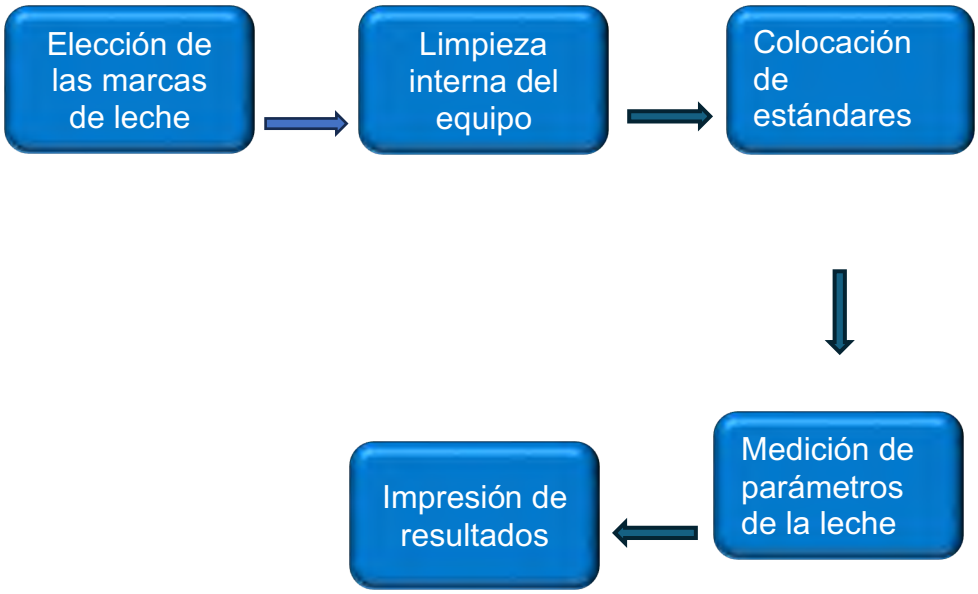
Ha: Las marcas de la leche si influyen en la composición de la leche.

Las hipótesis planteadas son fundamentos metódicos que permiten dirigir la investigación hacia la aceptación o el rechazo, por ello ocurrieron pequeñas diferencias en las marcas, como consecuencia de ello, se obtuvo lo siguiente, la nutrileche por ser entera como la santa clara existió una interacción y se observó una pequeña diferencia se esperaría, que este aspecto promueva que las amas de casa realicen sus compras en los supermercados y realicen la comparación y posteriormente tomen las decisiones en cuanto a costo beneficio de los productos y con ello coadyuvar en alimentos adecuados para nuestras familias mexicanas.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en las Instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos, donde se efectuó un análisis físico a leches comerciales, las materias primas seleccionadas fueron (Lala, Nutri Leche y Santa Clara), por consiguiente, se usó un equipo de laboratorio ekomilk, siguiendo la metodología mostrada en la figura 1

Figura 1 *Metodología que se realizó para medir la leche.*



Nota: Elaboración propia 2024.

Se corrió el experimento con un programa minitab el cual, nos brindó los siguientes resultados.

Tabla 1. *Análisis de contenido de grasa con el equipo ekomilk*

Santa Clara1	Lala 1	Nutri leche1	stdOrder
3.22	3.25	3.25	1
3.23	3.26	3.23	2
3.24	3.31	3.22	3

Nota: Elaboración propia marzo del 2024

En la tabla 1, se observan los nueve tratamientos que fueron evaluados con el equipo de laboratorio ekomilk, en él se observa que la leche comercial que más grasa contiene es la Lala, seguido de la nutrileche.

Tabla 2 . *Análisis del contenido de proteínas con el equipo ekomilk*

Santa Clara1_2	Lala 2	Nutri leche1_2	RunOrder
3.23	3.26	3.13	1
3.23	3.26	3.22	2
3.24	3.27	3.22	3

Nota: Elaboración propia marzo del 2024

En la tabla 2 se observan los nueve tratamientos que fueron evaluados con el equipo de laboratorio ekomilk, en él se observa que la leche comercial que más proteína contiene es la Lala.

Tabla 3. *Datos analizados con ekomilk caseína*

Santa Clara1_3	Lala 3	Nutri leche1_3	Blocks	PtType
5.06	5.14	4.9	1	1
5.08	5.19	5.08	1	1
5.1	5.15	5.07	1	1

Nota: Elaboración propia marzo del 2024

En la tabla 3 se observan los nueve tratamientos que fueron evaluados con el equipo de laboratorio ekomilk, se evidencia que la leche comercial, que más caseína contiene es la Lala, seguido de la nutrileche.

Ecuaciones

La ecuación representa una función lineal de las variables independientes, por lo que respecta ser trata de una función de primer orden.

$$\boldsymbol{y = \beta_0 + \beta_{1x1} + \beta_{2x2} + \cdots \beta_{kxk} + \varepsilon} \qquad \text{Ec.(1)}$$

Donde la variable

$$y = es\ una\ variable\ dependiente$$

$$x = es\ una\ variable\ independiente$$

$$\beta = Coeficiente\ asociado\ a\ la\ variable\ x$$

$$\varepsilon = es\ el\ error\ que\ cometemos$$

RESULTADOS

De acuerdo con el estudio realizado de acuerdo con los criterios elegidos se establecieron las siguientes hipótesis.

Ho: Las marcas comerciales de leches no afectan en cuanto a su composición.

Ha: Las marcas comerciales de leches si afectan en cuanto su composición.

El análisis de la prueba de Tukey que se realizó en la investigación de las tres leches fueron Lala, Nutrileche y Santa Clara con el equipo ekomilk, los resultados esperados fueron tomados con 95% de confianza a las muestras posteriores de leches comerciales. lo esperado es que existieran diferencias entre medias, lo que indica el balance del experimento, dado que se tenían todos los elementos del proceso para montar y hacer la investigación, una vez realizada se optó por un diseño de superficie de respuesta.

Con la finalidad de obtener un parámetro óptimo, con diferencias significativas capaz de dictaminar lo siguiente, que marca comercial contiene mayor cantidad de proteínas es Lala, si existe diferencia significativa.

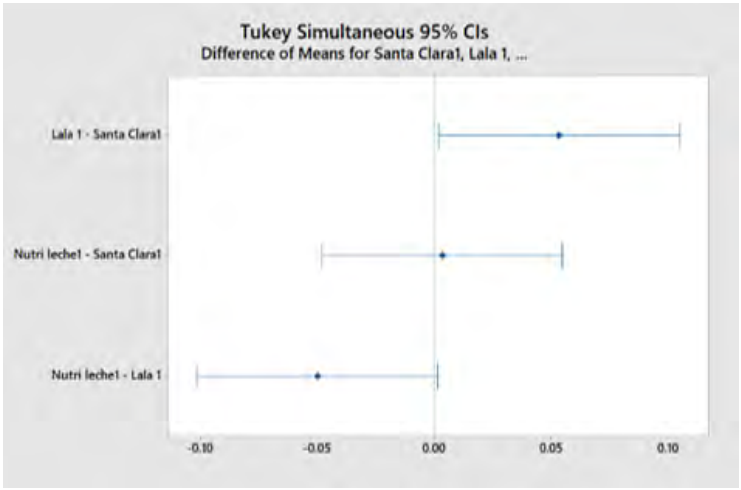


Figura 2 *Prueba de tukey*

Nota: Elaboración propia

En la figura 2 se observa la prueba de tukey con un 95 % de confianza de que estamos seguros de que la media real es proteína, y cae dentro de esa barra, puesto que no se traslapan, por lo tanto, si existe diferencia significativa. Por lo tanto, las leches son estadísticamente significativas, la gráfica evidencia que Lala tiene la media más alta de 3.28% y la barra no toca las otras dos, Lala tiene más proteína que Santa Clara y nutrileche.

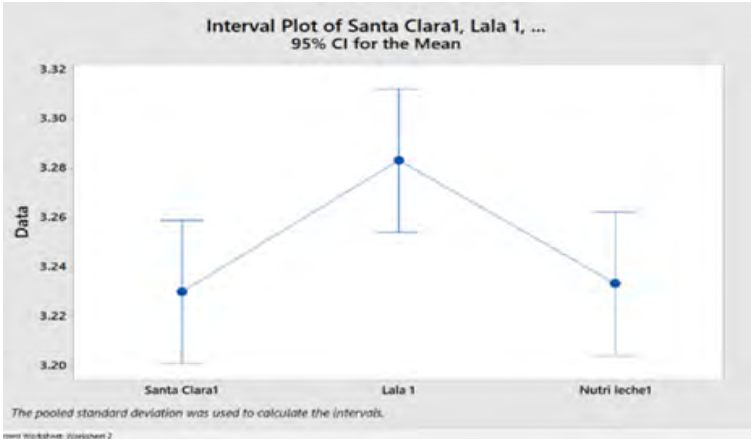


Figura 3. *Intervalos de las leches comerciales*

Nota: Elaboración propia

La figura 3 representa los intervalos de las leches comerciales donde se observa la tendencia donde se observa que Lala es significativamente diferente, su barra de error no se traslapa con Santa Clara ni con nutrileche, puesto que Lala tiene estadísticamente significativo un mayor contenido de proteínas con 95% de confianza

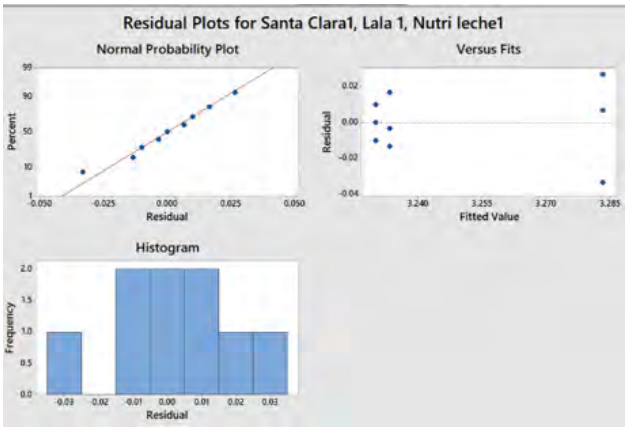


Figura 4 *Residuos de las leches comerciales*

Nota: Elaboración propia

En la figura 4 Los puntos azules siguen una distribución normal, solo unos puntos se desvían un poco, los datos de proteínas siguen una distribución normal, las tres leches tienen varianzas similares por lo tanto es válido, en el histograma los residuos tienen simetría de campana, por lo tanto los errores están bien distribuidos.

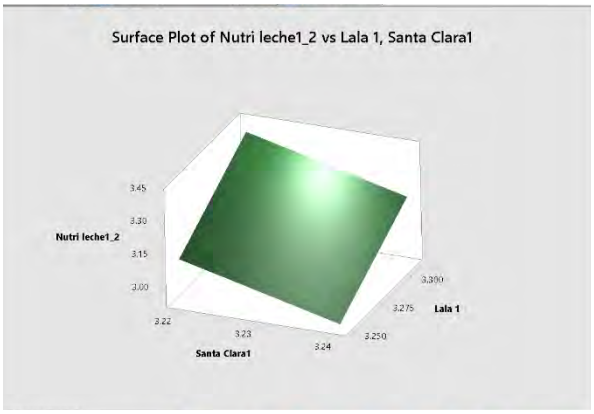


Figura 5 *La superficie de respuesta*

Nota: Elaboración propia

Fig. 5 Se muestra el diseño de superficie de respuesta, para el análisis de tres marcas comerciales de leche, la forma indica que no existe diferencias significativas, entre las tres marcas comerciales, confirmando que el contenido de proteínas es diferente en cada una de las marcas analizadas.

CONCLUSIONES

En este informe se revela siguiente, se observan diferencias significativas, en fig.2 tiene la media más alta 3.28, Revela que se hizo una prueba deTukey con un 95% de confianza lo que asegura que existen diferencias significativas, en que la marca Lala es la que más proteína contiene, y además las gráficas de residuos muestran que, se cumplen todos los supuestos, por lo tanto hay confiabilidad, puesto

que se habla de seguridad y confiabilidad, en este se presenta esta investigación, con la finalidad de indagar que marca comercial promueve a mejores proteínas, puesto que este punto es relevante, suponemos lo que va a suceder, para ello se eligen las hipótesis para nuestra experimentación. Ho las marcas comerciales no afectan en la cantidad de proteínas presente en la leche, H1 las marcas comerciales si afectan la composición de las proteínas en las leches, Por ende, al realizar el experimento se hizo la prueba de Tukey para detección de diferencias de las medias. Y el dictamen fue había ligeras tendencias en las marcas de Santa Clara y Nutrileche.

Puesto que la composición de la leche es indispensable, al evidenciar cual es la que mejor proteína proporcionó, podemos elegir nuestros alimentos de forma segura y confiable, coadyuvando en la salud y el aspecto económico para nuestras familias, esto permitirá una mayor rentabilidad en el progreso del país.

REFERENCIAS

Gattás, Z. (2001). Propiedades y composición química de la leche. Rev. chil. nutri, 7-12.

Cervantes EF, CH Santoyo, MA Álvarez. 2001. Lechería Familiar: factores de éxito para el negocio. Plaza y Valdés Editores S.A. de C.V., México D.F., México, Pp 165-188.

Álvarez-Fuentes, G., Herrera-Haro, J. G., Alonso-Bastida, G., & Barreras-Serrano, A. (2012). Calidad de la leche cruda en unidades de producción familiar del sur de Ciudad de México. Archivos de Medicina Veterinaria, 44(3), 237–242.

Bauman, D.E.; Mather, I.H.; Wall, R.J. and Lock, A.L. 2006. Major advances associated with the biosynthesis of milk. J Dairy Sci, 89: 1235- 1243.

Bordón-González, J. (2012). Asociación entre leche adulterada con melamina y aparición de litiasis renal en población infantil: una revisión de literatura de los casos acaecidos en la República Popular China . Elsevier, Pp 1-8.

González Cu, G. (2010). Primer Foro sobre Ganadería Lechera de la Zona Alta de Veracruz. 1.19: Universidad Veracruzana Pp 1-10

Harvatine, K.J.; Boisclair, Y.R. and Bauman, D.E. 2009. Recent advances in the regulation of milk fat synthesis. Animal, 3: 40-54.

Swaisgood, H.E. 2003. Protein composition of milk: identification, structure and chemical composition. In: Fox, P.F. and McSweeney, P.L.H. Advanced dairy chemistry: proteins part A. 3a ed. Springer Science. Cork, Ireland. pp. 140-225

Farrell Jr, H.M.; Jimenez, F.R.; Bleck, G.T.; Brown, E.M.; Butler, J.E.; Creamer, L.K.; Hicks, C.L.; Hollar, C.M.; Ng-Kwai-Hang, K.F. and Swaisgood, H.E. 2004. Nomenclature of the proteins of cows' milk-sixth revision. J Dairy Sci, 87: 1641-1674.

Ferrandini, E.; Castillo, M.; López, M.B. and Laencina, J. 2006. Structural models for the casein micelle. An Vet (Murcia), 22: 5-18.

OPTIMIZACIÓN DE LA SEGURIDAD EN LABORATORIOS INDUSTRIALES A TRAVÉS DE LA IDENTIFICACIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS

Ana Grisel Hernández Vallejo[1]
Melissa Jacome Domínguez[2]
Luis Alberto Montes Gutiérrez[3]
Leira Carol Escudero Ramirez[4]

RESUMEN

El presente proyecto aborda la optimización de la seguridad operacional en laboratorios mediante la identificación, evaluación y mitigación de riesgos que pueden comprometer la integridad del personal, la calidad de los procesos y la continuidad operativa. Dado que estas áreas intervienen directamente en actividades continuas, su correcto trabajo resulta esencial para garantizar la confiabilidad de los resultados y la continuidad operativa. Se desarrolló un diagnóstico integral basado en normas de seguridad industrial y herramientas como matrices de peligros, análisis de riesgos por tarea y evaluación de controles existentes. A partir de ello, se establecieron medidas orientadas para fortalecer los procedimientos de respuesta ante emergencias de riesgos físicos, químicos, eléctricos y ergonómicos. La implementación de estas estrategias permitió mejorar la eficiencia de los procesos, estandarizar prácticas seguras de trabajo y elevar el nivel de cumplimiento normativo dentro del laboratorio. Los resultados evidencian que la gestión eficiente del riesgo contribuye directamente a la reducción de incidentes, la protección del personal y el aseguramiento en los laboratorios.

Palabras clave: Seguridad, riesgos, eficiencia, laboratorios.

INTRODUCCIÓN

La seguridad e higiene en los laboratorios químicos constituyen elementos fundamentales para la prevención de accidentes laborales y la protección de la salud de los trabajadores. En la industria azucarera, los laboratorios desempeñan un papel esencial en el control de calidad y análisis de materias primas, productos intermedios y productos terminados. Durante estas actividades, el personal puede estar expuesto a riesgos físicos, químicos y mecánicos que, de no controlarse adecuadamente, pueden ocasionar lesiones, enfermedades ocupacionales e incluso daños materiales significativos.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. ana.hv@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. L21885057@ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. luis.mg@ugalvan.edu.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. leira.er@ugalvan.edu.tecnm.mx

La implementación de medidas preventivas, el uso adecuado del Equipo de Protección Personal (EPP) y la aplicación de protocolos de actuación ante emergencias representan herramientas indispensables para garantizar condiciones seguras de trabajo. Este capítulo describe los principales elementos de protección personal, los riesgos más frecuentes presentes en los laboratorios químicos de una fábrica de azúcar y los procedimientos básicos de respuesta ante incidentes.

Equipo de Protección Personal

Concepto y función

El Equipo de Protección Personal (EPP) comprende el conjunto de dispositivos, accesorios y prendas diseñados para proteger al trabajador frente a riesgos específicos presentes en su entorno laboral. Su utilización constituye la última barrera de protección cuando los peligros no pueden eliminarse completamente mediante controles de ingeniería o medidas administrativas.

En los laboratorios químicos de la industria azucarera, el EPP tiene la finalidad de reducir la exposición a sustancias químicas corrosivas, vapores irritantes, altas temperaturas, objetos cortantes, ruido y otros agentes capaces de afectar la integridad física del trabajador.

Requisitos del Equipo de Protección Personal

Para garantizar su eficacia, los equipos de protección deben cumplir con diversos criterios técnicos y normativos:

Estar certificados conforme a normas nacionales e internacionales aplicables, tales como la NOM-017-STPS-2008, OSHA, ANSI o ISO.

Ser compatibles con otros equipos de protección utilizados simultáneamente.

Ajustarse adecuadamente a las características físicas del usuario.

Mantenerse en condiciones óptimas mediante programas de limpieza, inspección y mantenimiento.

Contar con identificación clara sobre el riesgo frente al cual brindan protección.

Clasificación del Equipo de Protección Personal

Protección para la cabeza

La protección de la cabeza se realiza principalmente mediante el uso de gorros o cofias, cuya función consiste en contener el cabello y evitar la contaminación de muestras, reactivos y equipos. Asimismo, contribuyen a proteger el cuero cabelludo frente a partículas suspendidas y pequeñas salpicaduras químicas.

Su correcta utilización requiere cubrir completamente el cabello y evitar la manipulación de la superficie externa del equipo durante su colocación.

Protección ocular y respiratoria

Los ojos y las vías respiratorias representan dos de las regiones anatómicas más vulnerables durante las actividades de laboratorio.

Las gafas de seguridad o goggles constituyen una barrera eficaz contra impactos, partículas proyectadas y salpicaduras químicas. Estos dispositivos deben proporcionar un ajuste adecuado al rostro y estar fabricados con materiales resistentes a impactos y agentes químicos.

Por otra parte, las mascarillas o respiradores protegen al trabajador frente a la inhalación de vapores, aerosoles y gases potencialmente nocivos. Para garantizar su eficacia, deben ajustarse correctamente al rostro, cubriendo completamente nariz y boca.

Protección de las manos

Los guantes de seguridad son esenciales para evitar el contacto directo con sustancias químicas, superficies calientes y materiales cortantes.

Los materiales más utilizados incluyen nitrilo, látex, neopreno, PVC y butilo, seleccionados según las características de los agentes manipulados. La inspección previa, el reemplazo oportuno y la correcta disposición final de los guantes son prácticas indispensables para mantener su efectividad.

Protección corporal

La bata de laboratorio constituye una barrera física destinada a proteger la piel y la ropa personal frente a derrames, salpicaduras y contaminación química.

Esta prenda debe mantenerse completamente abotonada durante toda la jornada laboral y utilizarse exclusivamente dentro de las áreas autorizadas.

Protección de los pies

El calzado de seguridad protege frente a riesgos asociados con impactos, derrames químicos, superficies resbaladizas y exposición a altas temperaturas.

Generalmente se emplean botas industriales con propiedades antiderrapantes y materiales resistentes a sustancias químicas y esfuerzos mecánicos.

Buenas Prácticas de Seguridad en el Laboratorio

La prevención de accidentes depende en gran medida del comportamiento individual de los trabajadores y del cumplimiento de las normas establecidas.

Entre las prácticas recomendadas destacan:

Uso permanente y correcto del EPP.

Mantenimiento de una adecuada higiene personal.

Prohibición del consumo de alimentos y bebidas dentro del laboratorio.

Conservación del orden y limpieza de las áreas de trabajo.

Lavado frecuente de manos antes, durante y después de las actividades de laboratorio.

Eliminación adecuada de residuos químicos y biológicos.

Reporte inmediato de condiciones inseguras e incidentes.

Estas medidas contribuyen significativamente a la reducción de riesgos laborales y a la preservación de la calidad analítica de los procesos.

Etiquetado de Sustancias Químicas

El etiquetado constituye una herramienta fundamental para la comunicación de peligros químicos y la prevención de accidentes.

Las etiquetas deben contener información relacionada con:

Identificación del producto.

Composición química.

Pictogramas de peligro.

Descripción de riesgos.

Medidas preventivas.

Datos del fabricante o proveedor.

Número de autorización correspondiente.

Información legible y permanentemente visible.

La correcta interpretación de esta información permite a los trabajadores identificar peligros potenciales y adoptar medidas preventivas adecuadas durante el manejo de sustancias químicas.

Riesgos Laborales en el Laboratorio Químico

Factores generadores de riesgo

Los riesgos en los laboratorios químicos pueden originarse por múltiples factores, entre ellos:

Desconocimiento de las propiedades peligrosas de las sustancias.

Aplicación incorrecta de procedimientos.

Uso de equipos defectuosos.

Material de vidrio deteriorado.

Deficiencias en las instalaciones.

Espacios de trabajo reducidos.

Falta de capacitación del personal.

La identificación temprana de estos factores permite implementar medidas de control eficaces para minimizar la probabilidad de accidentes.

Riesgos más frecuentes

Los riesgos comúnmente identificados en los laboratorios de la industria azucarera incluyen:

Cortes y heridas por material de vidrio.

Quemaduras térmicas.

Quemaduras químicas.

Derrames de sustancias peligrosas.

Exposición a vapores irritantes.

Inhalación de gases derivados de ácidos.

Riesgos eléctricos.

Incendios.

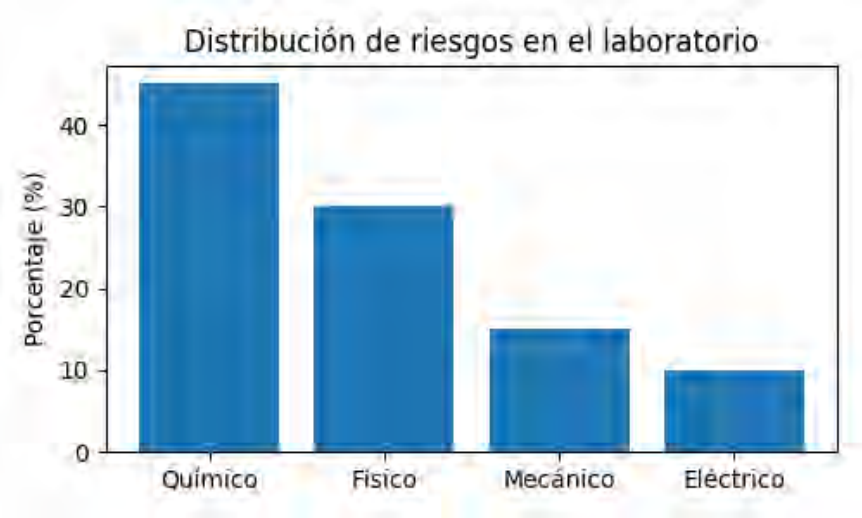


Figura 1. Distribución estimada de riesgos presentes en el laboratorio.

Protocolos de Actuación ante Emergencias

Acciones generales inmediatas

Ante cualquier incidente o accidente, se recomienda seguir una secuencia básica de actuación:

Mantener la calma.

Suspender inmediatamente la actividad.

Notificar al responsable del área.

Activar los sistemas de emergencia cuando corresponda.

Aplicar el protocolo específico según el tipo de accidente.

Evacuar el área si la situación lo requiere.

Emergencias por riesgos físicos

Las lesiones más frecuentes corresponden a heridas ocasionadas por material de vidrio y quemaduras producidas por superficies calientes o equipos de laboratorio.

El tratamiento inicial debe enfocarse en controlar la hemorragia, limpiar adecuadamente la lesión y solicitar atención médica cuando sea necesario. En casos de quemaduras, el enfriamiento inmediato con agua corriente y la protección estéril de la zona afectada constituyen medidas fundamentales.

Los incendios representan una de las emergencias más críticas, por lo que requieren la activación inmediata de los sistemas de alarma, la utilización correcta de extintores cuando el fuego es controlable y la evacuación del personal cuando exista riesgo de propagación.

Emergencias por riesgos químicos

Las emergencias químicas incluyen salpicaduras oculares, contacto dérmico, inhalación de vapores tóxicos e ingestión accidental.

El uso oportuno de estaciones lavaojos y regaderas de emergencia permite reducir significativamente la gravedad de las lesiones químicas. Asimismo, la atención médica inmediata y la disponibilidad de las Hojas de Datos de Seguridad (HDS) facilitan la aplicación de tratamientos adecuados.

Importancia de la Cultura de Seguridad

La cultura de seguridad constituye un componente esencial dentro de los sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional. Su desarrollo implica la participación activa de todos los trabajadores, la capacitación continua y el cumplimiento estricto de procedimientos operativos seguros.

En los laboratorios químicos de la industria azucarera, la consolidación de una cultura preventiva favorece la disminución de accidentes, mejora la eficiencia operativa y contribuye al cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad laboral.

CONCLUSIONES

El uso adecuado del Equipo de Protección Personal, junto con la aplicación de buenas prácticas de laboratorio y protocolos de emergencia, representa una estrategia fundamental para la prevención de riesgos en los laboratorios químicos de las fábricas azucareras. La identificación de peligros, el manejo seguro de sustancias químicas y la capacitación continua del personal permiten minimizar la ocurrencia de accidentes y proteger la salud de los trabajadores. En consecuencia, la seguridad debe considerarse un elemento integral de los procesos de análisis y control de calidad dentro de la industria azucarera, garantizando ambientes de trabajo seguros, eficientes y sostenibles.

REFERENCIAS

Arias, W. (2012). Revisión histórica de la Salud Ocupacional y Seguridad Industrial. Revista Cubana de Salud y Trabajo.

Aguirre Andrade, J. E., Cabrera Armijos, R. A., Díaz Ramírez, M. D., & Macías Talbot, W. R. (2022). La seguridad a través de la identificación de riesgos de los trabajadores. Polo del Conocimiento, 7(7). Recuperado de https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4221

Aguilar, J. (2009). Diseño de un Sistema de Seguridad e Higiene industrial Muebles Bienestar. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Bojacá, N. A. (2019). Manual para la prevención y control de riesgos laborales en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Libre Seccional Bogotá. Tesis pregrado. Universidad Libre Seccional Bogotá. Bogotá, Colombia.

Chica, S. B. (2019). Elaboración de un programa de bioseguridad para el laboratorio clínico Neolab de la ciudad de Cuenca. Tesis pregrado. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.

González, A., & Villalobos, R. (2016). Introducción a la ingeniería de alimentos. Editorial Pearson.

Hernández, J. (2005). Derecho Laboral. En Su importancia y Aplicación en la empresa (pág. 14). México: Cecsa.

Henao Robledo, Fernando (2015), Seguridad y salud en el trabajo: conceptos básicos / Fernando Henao Robledo. - 3ª. ed. - Bogotá: Ecoe Ediciones, 2013 144 p. - (Ingeniería y arquitectura. Salud ocupacional)

ISO. (2018). ISO 45001:2018 – Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. International Organization for Standardization.

Ministerio de Trabajo. (2014). Decreto número 1443 de 2014. Recuperado de https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1SeMib6AijY1Q4ssSudCTiMut7lU3dwl

México. (2021). Ley de Infraestructura de la Calidad. Recuperado de https://platiica.economia.gob.mx/sistema-nacional-de-infraestructura-de-la-calidad/ley-de-infraestructura-de-la-calidad/

Nava, R. Factores de riesgo. Departamento de Salud Pública. Facultad de Medicina UNAM, 2008.

Pasquel, W. A. y Burgos, A. E. (2020). Evaluación de las normas de Bioseguridad en un laboratorio clínico. Tesis pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecurador.

RAMÍREZ, César. (2.000) Seguridad Industrial: Un Enfoque Integral. México: Editorial Limusa.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2008). NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal – Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/salud/documentos/normas-oficiales-aplicables-a-los-laboratorios

Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2008). NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/salud/documentos/normas-oficiales-aplicables-a-los-laboratorios

Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). (2015). NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación. https://www.gob.mx/salud/documentos/normas-oficiales-aplicables-a-los-laboratorios.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA SISTEMAS DE CALDERAS

Ana Grisel Hernández Vallejo[1]
Jhoana López Hernández[2]
Luis Alberto Montes Gutiérrez[3]
Salvador Paredes Rincón[4]

RESUMEN

La calidad del agua utilizada en sistemas de calderas representa un factor fundamental para el correcto funcionamiento y la seguridad de los procesos industriales. De manera natural, el agua contiene sales minerales, gases y otras sustancias que pueden generar efectos negativos en los equipos, tales como corrosión, formación de incrustaciones, disminución en la eficiencia térmica y deterioro de la calidad del vapor producido. Estas condiciones no solo reducen la vida útil de las calderas, sino que también incrementan los riesgos operativos y los costos de mantenimiento, por lo que es necesario aplicar tratamientos especializados antes de su utilización. En esta investigación se desarrolló un estudio experimental en un ingenio azucarero con la finalidad de evaluar la efectividad del tratamiento aplicado al agua de alimentación y al agua interna de la caldera. Para ello, se analizaron distintos parámetros fisicoquímicos establecidos en las normas técnicas, los cuales permiten determinar si el agua cumple con las condiciones adecuadas para evitar daños en el sistema. Los resultados mostraron que los métodos de tratamiento implementados fueron eficientes, ya que los valores obtenidos se mantuvieron dentro de los límites recomendados, contribuyendo a reducir problemas de incrustación y corrosión, así como a mejorar el desempeño y la confiabilidad del sistema de generación de vapor.

Palabras clave: Tratamiento, corrosión, agua, incrustaciones.

INTRODUCCIÓN

La generación de vapor constituye una de las operaciones más importantes dentro de los procesos industriales modernos. Su aplicación no se limita a la producción de energía eléctrica, sino que también desempeña un papel fundamental en sectores como la industria azucarera, papelera, química, textil y

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. ana.hv@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. L24880316@ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. luis.mg@ugalvan.edu.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ùrsulo Galván. Salvador.pr@ugalvan.edu.tecnm.mx

farmacéutica, donde el vapor se utiliza como medio de transferencia de calor y como insumo para diversos procesos productivos (Cardozo, 2010).

El agua es el principal recurso empleado en la producción de vapor y, por tanto, su calidad influye directamente en la eficiencia y seguridad de los sistemas de generación térmica. En el ámbito industrial, el agua se utiliza ampliamente como fluido de transferencia de calor en operaciones de calentamiento, siendo las calderas el método más común para suministrar energía térmica a diferentes áreas de producción (Gotti, 2018).

La calidad del agua de alimentación representa uno de los factores más importantes para garantizar un funcionamiento adecuado de las calderas. La presencia de sales disueltas, minerales, gases y otras impurezas puede provocar fenómenos de corrosión, incrustación, formación de depósitos y arrastre de condensados, afectando negativamente el rendimiento térmico y la vida útil de los equipos (Mathur, 2011). Estos problemas generan pérdidas energéticas, incrementan los costos de mantenimiento y pueden ocasionar fallas operativas que comprometen la continuidad de los procesos industriales.

Con el propósito de minimizar dichos efectos, las industrias implementan programas de tratamiento de agua que incluyen procedimientos externos e internos. Los tratamientos externos están orientados a la eliminación o reducción de contaminantes presentes en el agua cruda mediante operaciones como filtración, suavización, desmineralización y desgasificación. Por otra parte, los tratamientos internos consisten en la dosificación controlada de productos químicos que permiten acondicionar el agua dentro del sistema de generación de vapor, previniendo la corrosión y la formación de incrustaciones (González, 1999).

El control de la calidad del agua requiere además el monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos tales como pH, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad, sólidos disueltos totales, turbidez, sílice, sulfito y fosfato. La evaluación periódica de estos indicadores permite verificar la eficacia de los tratamientos aplicados y mantener las condiciones operativas recomendadas para los equipos generadores de vapor (Saxxon, 2006).

Diversos estudios han demostrado la importancia de una adecuada gestión de la calidad del agua en sistemas de generación de vapor. Mejía y Orozco (2008) reportaron que aproximadamente el 30 % de las fallas registradas en calderas pirotubulares están relacionadas con tratamientos inadecuados del agua de alimentación. Por esta razón, uno de los objetivos fundamentales en la operación de calderas consiste en asegurar que tanto el agua de alimentación como el agua contenida en el sistema cumplan con los estándares de calidad requeridos, favoreciendo una mayor eficiencia térmica y una reducción significativa de los costos asociados al mantenimiento.

La obtención de agua apta para calderas exige el cumplimiento de límites específicos para diversos parámetros fisicoquímicos, los cuales han sido establecidos con el fin de prevenir problemas de corrosión e incrustación. Debido a que el agua cruda suele constituir la principal fuente de abastecimiento, resulta indispensable aplicar tratamientos que permitan remover o reducir las sustancias potencialmente perjudiciales presentes en ella (Oelker, 2008).

En la industria azucarera, la calidad del agua adquiere una relevancia particular debido a la alta demanda de vapor requerida durante las etapas de evaporación, cristalización y refinación del azúcar. Un manejo inadecuado del sistema de agua puede afectar la eficiencia energética de la planta y comprometer la confiabilidad de los equipos de proceso. Por ello, el monitoreo constante de las características fisicoquímicas del agua constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones relacionadas con la operación y mantenimiento de las calderas.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua utilizada en el sistema de generación de vapor del Ingenio La Gloria, mediante el seguimiento de diferentes parámetros fisicoquímicos en puntos estratégicos del proceso. Para ello, se analizaron muestras provenientes de agua de condensados recuperados durante las etapas de evaporación y cristalización, agua de río utilizada como fuente de abastecimiento y agua sometida a procesos de filtración y acondicionamiento. La información obtenida permitió determinar si el agua cumple con las condiciones requeridas para su utilización en las calderas y establecer su influencia sobre la eficiencia operativa del sistema de generación de vapor.

RESULTADOS

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos permitió determinar la efectividad del tratamiento químico aplicado al sistema de generación de vapor. Entre los indicadores analizados, la conductividad eléctrica constituye un parámetro de gran relevancia debido a que refleja la concentración de sales disueltas presentes en el agua y permite identificar posibles variaciones en la calidad del tratamiento.

Los resultados mostraron que la conductividad del agua de alimentación y la correspondiente a la caldera 8 presentaron tendencias similares a lo largo del período de estudio. Sin embargo, los valores registrados en el agua de alimentación fueron ligeramente inferiores, situación que puede atribuirse a la mezcla entre el agua industrial previamente tratada y el condensado recuperado del proceso, el cual representa aproximadamente el 17 % del volumen total alimentado a las calderas.

Por otra parte, la caldera 7 presentó una conductividad promedio de 17.52 µS/cm. Las diferencias observadas entre ambas calderas están asociadas principalmente a sus condiciones de operación y diseño. Mientras que la caldera 8 opera bajo condiciones de alta presión y requiere criterios de control

más estrictos, la caldera 7 trabaja a menor presión, por lo que los valores de referencia utilizados para evaluar la calidad del agua son diferentes.

De acuerdo con los estándares operativos establecidos por la empresa, la conductividad del agua se mantuvo por debajo de 500 µS/cm durante todo el período analizado. Estos resultados sugieren que la concentración de sólidos disueltos permaneció dentro de límites aceptables, indicando una adecuada eficiencia de los procesos de tratamiento implementados. No obstante, diversos autores señalan que la evaluación integral de la calidad del agua para calderas debe complementarse con otros parámetros críticos, como el pH, la dureza total, la alcalinidad, la concentración de sílice y el contenido de oxígeno disuelto, debido a su influencia directa sobre los mecanismos de corrosión e incrustación (Mathur, 2011).

En la figura 1 se muestra la conductividad de la caldera 8 permaneció prácticamente constante durante el período de monitoreo, lo cual puede atribuirse a su operación continua y estable. En contraste, la caldera 7 presentó incrementos temporales de conductividad asociados a sus ciclos de arranque y parada. Este comportamiento es consistente con lo reportado en la literatura técnica, donde las fluctuaciones operativas suelen provocar variaciones en la concentración de sólidos disueltos debido a cambios en las tasas de evaporación y reposición de agua de alimentación.

En términos generales, los resultados obtenidos evidencian que el sistema de tratamiento aplicado permitió mantener las características fisicoquímicas del agua dentro de rangos adecuados para la generación de vapor. Esto contribuye a minimizar los riesgos de corrosión, incrustación y arrastre, favoreciendo una mayor eficiencia térmica, una reducción de los costos de mantenimiento y una prolongación de la vida útil de las calderas.

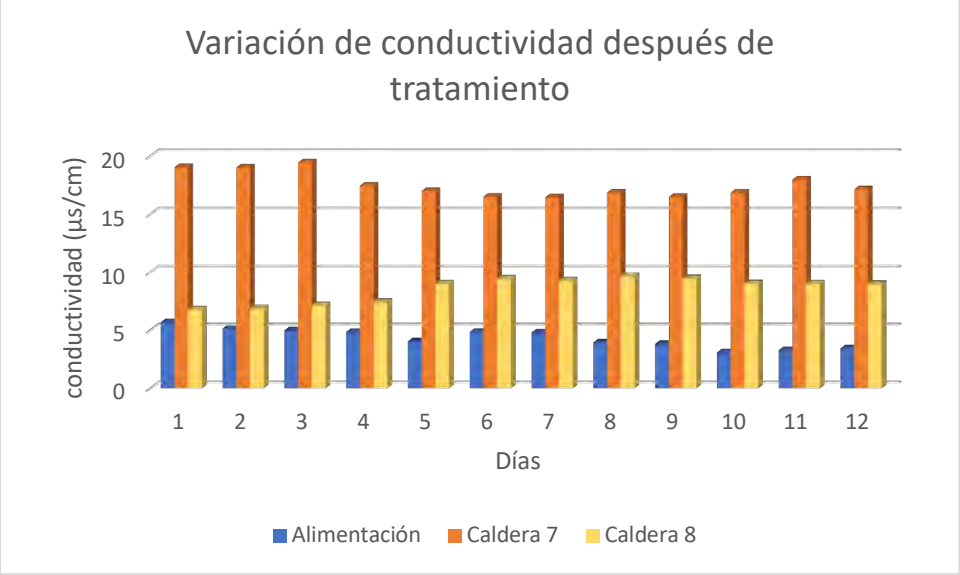


Figura 1. Variación de la conductividad después del tratamiento.

La Figura 2 presenta la evolución del pH en las diferentes corrientes de agua evaluadas antes de la aplicación del tratamiento químico. Los resultados evidenciaron una tendencia semejante entre el agua de alimentación y el agua contenida en las calderas, comportamiento que puede relacionarse con la incorporación de condensados recuperados al sistema de alimentación, los cuales influyen directamente sobre las características químicas del agua que ingresa a los generadores de vapor.

En el agua de alimentación se registraron valores de pH comprendidos entre 7.0 y 9.40. Aunque la mayor parte de las mediciones se ubicó dentro de intervalos aceptables, algunos valores se encontraron por debajo del rango recomendado para calderas de baja presión (8.8–9.8), condición que puede incrementar el riesgo de corrosión en superficies metálicas debido al aumento de la acidez del medio.

Por su parte, la caldera 7 presentó valores de pH entre 8.01 y 9.15, manteniéndose relativamente estable durante el periodo de monitoreo. En contraste, la caldera 8 mostró una tendencia ascendente, con registros mínimos de 7.98 y máximos de 11.25, lo que indica una mayor variabilidad en las condiciones químicas del sistema.

El control adecuado del pH constituye uno de los aspectos más importantes en el tratamiento de aguas para generación de vapor, ya que este parámetro influye directamente en los mecanismos de corrosión, precipitación de sales y formación de depósitos. Valores inferiores a los recomendados favorecen el deterioro de las superficies metálicas, mientras que valores excesivamente altos pueden promover fenómenos de incrustación y arrastre de sólidos. Por esta razón, resulta indispensable implementar programas de acondicionamiento químico que permitan mantener el pH dentro de los límites operacionales establecidos, garantizando así una mayor protección de los equipos y una operación más eficiente del sistema de generación de vapor (Mathur, 2011; Oelker, 2008).

Los resultados obtenidos sugieren que, aunque las condiciones de pH fueron generalmente aceptables, es necesario mantener un monitoreo continuo y ajustar la dosificación de los productos químicos cuando sea requerido, con el fin de asegurar la estabilidad del sistema y minimizar posibles afectaciones asociadas a procesos corrosivos o de incrustación.

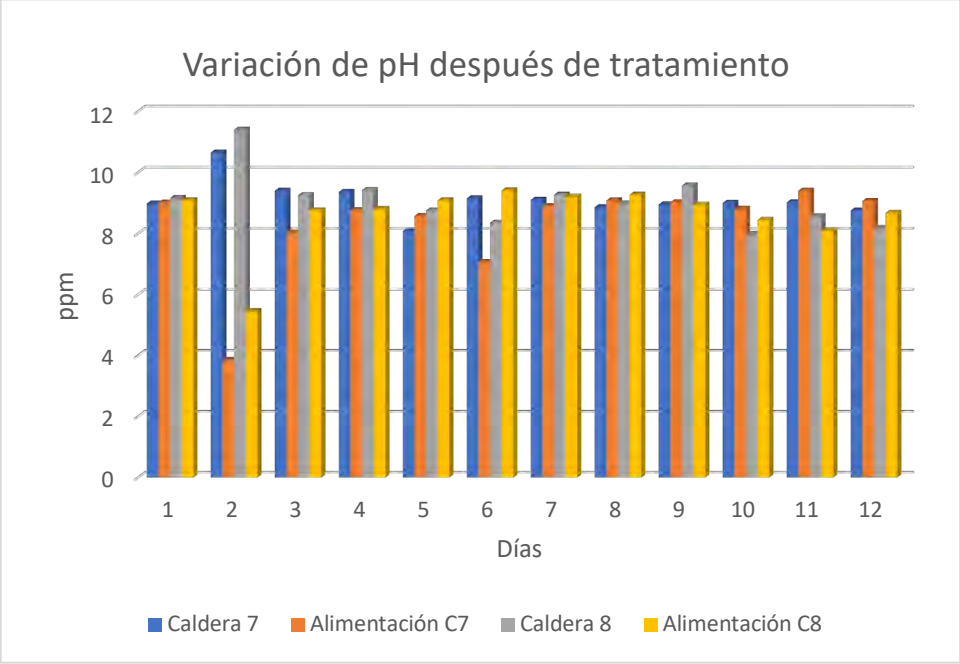


Figura 2. VARIACIÓN DE pH DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos de las aguas del sistema de generación de vapor, durante el primer y segundo análisis del turno previo a la aplicación del tratamiento interno. Cabe mencionar que durante el turno se hace este análisis fisicoquímico en dos ocasiones, en donde únicamente el análisis de sílice presente se hace en el primer análisis.

Es posible apreciar que con el uso del tratamiento químico se mantienen controlados los niveles de pH y alcalinidad en el agua de la caldera, manteniéndose la alcalinidad muy por debajo del máximo permitido (< 60 ppm). Adicionalmente, se puede observar como el contenido de sílice en la caldera aumentó, lo cual puede ser atribuido al aumento de sus ciclos de concentración debida a la constante evaporación del agua.

Tabla 1. ANÁLISIS DE AGUA DE CALDERAS

	ALCALINIDADES			CLORUROS	DUREZA TOTAL	FOSFATOS	SULFITOS	ph	CONDUCTIVIDAD
CALDERA	F	M	OH						
	<60 PPM	<60 PPM	<60 PPM	0 – 60 PPM	< 5 PPM	0–50 PPM	<15 PPM	8.8 - 9.8	< 500 µS/cm
7	10	20	10	15	0	1.7	3	9.35	18.12
Fca. Alcohol	*	*	*	*	0	*	*	9.15	4.24
Alimentación	0	20	0	16	0	0.4	2	9	3.68

	ALCALINIDADES			CLORUROS	DUREZA TOTAL	FOSFATOS	SULFITOS	ph	CONDUCTIVIDAD	SÍLICE
CALDERA	F	M	OH							
	<60 PPM	<60 PPM	<60 PPM	0 – 60 PPM	< 5 PPM	0–50 PPM	<15 PPM	8.8 - 9.8	< 500 µS/cm	< 20ppm
7	10	20	10	17	0	1.9	2	9.4	19.08	5.3
Fca. Alcohol	*	*	*	*	0	*	*	9.67	4.47	0.009
Alimentación	0	20	0	16	0	0.7	2	9.03	5.69	0.054

Durante el periodo de zafra, la elevada recuperación de condensados permitió utilizar estos efluentes como fuente principal de alimentación para las calderas, reduciendo significativamente la dependencia del sistema convencional de tratamiento de agua. Como consecuencia, la planta de tratamiento permaneció fuera de operación durante gran parte de este periodo, debido a que los condensados recuperados presentaron características fisicoquímicas favorables para su reutilización en el sistema de generación de vapor.

La utilización de condensados como agua de alimentación contribuyó a mantener bajas concentraciones de sólidos disueltos y dureza, además de favorecer condiciones de pH más adecuadas para la operación de las calderas. Estas características representan una ventaja operacional importante, ya que disminuyen la probabilidad de formación de incrustaciones y reducen los riesgos asociados a procesos corrosivos en los equipos.

No obstante, la calidad del agua obtenida mediante recuperación de condensados no elimina la necesidad de aplicar un tratamiento químico interno. Este tipo de tratamiento permite optimizar las condiciones de operación mediante el control de los ciclos de concentración, la disminución de pérdidas energéticas asociadas a las purgas y la prevención de fenómenos de corrosión e incrustación. En conjunto, estas acciones favorecen una mayor eficiencia térmica y una reducción de los costos de mantenimiento del sistema de generación de vapor.

Los resultados presentados en la Tabla 1 evidencian la efectividad del producto químico empleado durante el tratamiento interno. La reducción observada en la concentración de sólidos dentro de las calderas puede estar relacionada con la reacción de los componentes activos del producto con especies químicas presentes en el agua, tales como cloruros, sulfatos y carbonatos. Como resultado de estas reacciones se forman compuestos sólidos de carácter no adherente que pueden ser removidos fácilmente mediante las purgas de fondo, evitando su acumulación sobre las superficies de transferencia de calor (Cardozo, 2011).

Por otra parte, la Figura 3 muestra que los valores de dureza total tanto en el agua de alimentación como en el agua de las calderas permanecieron estables durante todo el periodo de evaluación. En todos los casos, las concentraciones registradas fueron inferiores al límite máximo recomendado para este tipo de sistemas (<10 ppm), lo que indica un adecuado desempeño del programa de tratamiento aplicado.

La baja dureza observada es un indicador favorable para la operación de las calderas, ya que limita la presencia de calcio y magnesio, elementos responsables de la formación de depósitos minerales sobre las superficies metálicas. En consecuencia, los resultados sugieren que las estrategias de control implementadas fueron efectivas para minimizar la generación de incrustaciones y mantener

condiciones operativas adecuadas dentro del sistema de producción de vapor. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por diversos autores, quienes señalan que el control de la dureza constituye uno de los factores más importantes para preservar la eficiencia térmica y prolongar la vida útil de los equipos generadores de vapor (Mathur, 2011; Oelker, 2008).

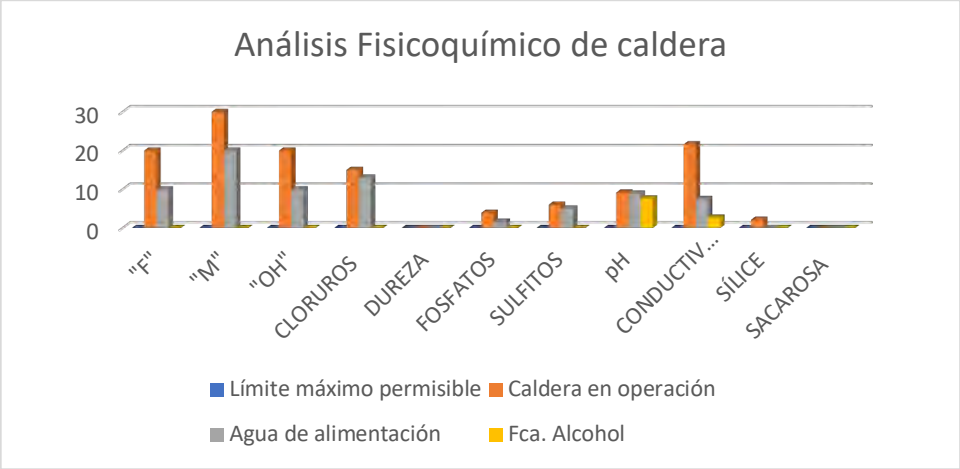


Figura 3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA CALDERA

En el caso de la alcalinidad, se puede observar en la figura 4 que los valores oscilaron entre un mínimo de 10 ppm y un máximo de 30 ppm. Los cuales se encuentran por debajo del límite aceptable (< 60 ppm). Adicionalmente, es posible apreciar que la alcalinidad del agua

Estas observaciones reflejan que los productos químicos utilizados al interior de la caldera regulan en gran medida las concentraciones de los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, responsables de la alcalinidad en el medio.

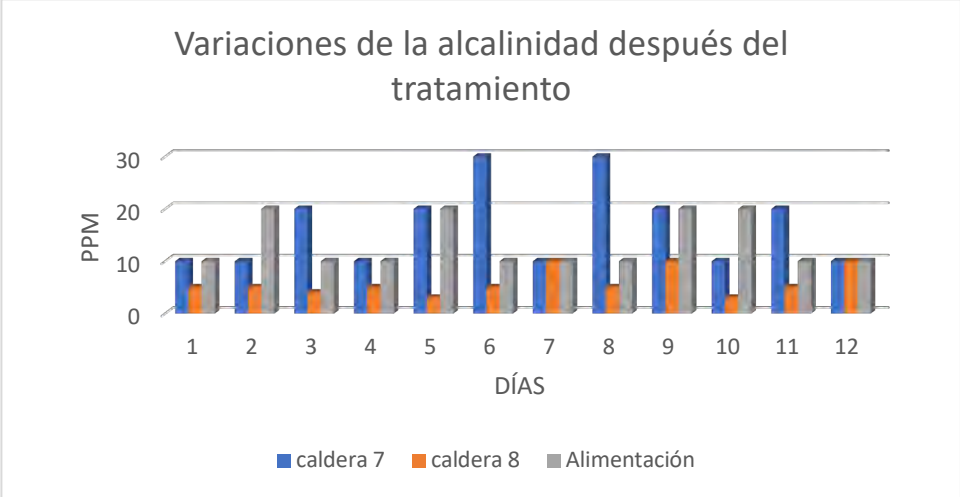


Figura 4. VARIACIONES EN LA ALCALINIDAD DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

La sílice constituye uno de los contaminantes de mayor interés en los sistemas de generación de vapor debido a su capacidad para formar depósitos difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor y, en algunos casos, ser arrastrada junto con el vapor hacia equipos aguas abajo. Este

problema suele presentarse con mayor frecuencia en calderas de baja presión cuyos sistemas de pretratamiento no están diseñados específicamente para la remoción de sílice o cuando se opera con ciclos de concentración elevados (Zhou, 2012).

Los resultados obtenidos para este parámetro (Figura 5) mostraron una baja variabilidad durante todo el periodo de evaluación. Las concentraciones registradas permanecieron muy por debajo del límite recomendado para sistemas de generación de vapor (<10 ppm), lo que indica un adecuado control de este componente y una baja probabilidad de formación de depósitos silíceos. Estos resultados sugieren que tanto la calidad del agua de alimentación como las condiciones operativas de las calderas favorecieron el mantenimiento de niveles seguros de sílice dentro del sistema.

En cuanto al contenido de sulfitos, se observó una disminución gradual en el agua de alimentación y en el interior de las calderas, estabilizándose posteriormente en concentraciones comprendidas entre 2 y 6 ppm. Este comportamiento es consistente con la función que desempeñan los sulfitos dentro del tratamiento químico, ya que actúan como agentes secuestrantes de oxígeno, reaccionando con el oxígeno disuelto antes de que éste pueda generar procesos corrosivos sobre las superficies metálicas. La presencia de concentraciones residuales de sulfito evidencia que el tratamiento aplicado proporcionó una protección adecuada frente a uno de los principales mecanismos de corrosión en sistemas de vapor.

Por otra parte, la evolución de los fosfatos mostró una tendencia opuesta entre el agua de alimentación y el agua de caldera. Mientras que las concentraciones disminuyeron progresivamente en la alimentación, se observó un incremento dentro de las calderas hasta alcanzar valores promedio cercanos a 0.5 ppm y 3.9 ppm, respectivamente. Este comportamiento está asociado a la acumulación controlada del producto químico en el interior del sistema y a su participación en las reacciones de acondicionamiento del agua.

La presencia de fosfatos es fundamental en los programas de tratamiento interno, ya que contribuye al control de la alcalinidad y del pH, además de favorecer la precipitación de calcio y magnesio en forma de compuestos no adherentes. De esta manera, se evita la formación de incrustaciones compactas sobre las superficies de transferencia de calor, facilitando su eliminación mediante las purgas de fondo y mejorando la eficiencia operativa de las calderas (Cardozo, 2011).

En conjunto, los resultados obtenidos para sílice, sulfitos y fosfatos indican que el tratamiento químico aplicado fue eficaz para mantener condiciones adecuadas de operación, reduciendo los riesgos asociados a incrustaciones, corrosión y pérdida de eficiencia térmica. La estabilidad observada en estos parámetros confirma la importancia de un monitoreo continuo como herramienta para optimizar el desempeño y la vida útil de los equipos generadores de vapor.

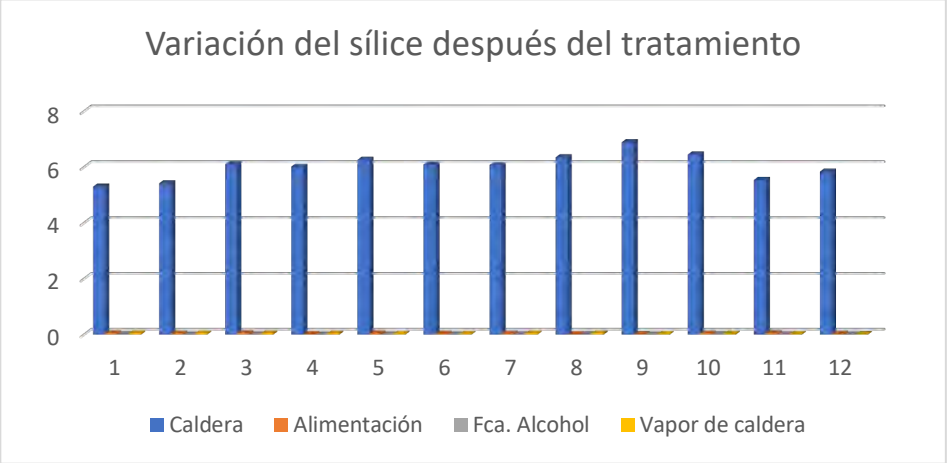


Figura 5. VARIACIÓN DE SÍLICE DESPUÉS DE TRATAMIENTO

de observar el comportamiento en el proceso de tratamiento de agua, se pueden comparar si la calidad del agua es la mínima necesaria para su alimentación a la caldera de alta presión. Para esto se obtuvo un promedio en los parámetros dentro de la industria para garantizar que la comparación sea real respecto a la producción diaria de agua y vapor.

Se comparan los parámetros que coinciden entre las especificaciones de agua de alimentación a calderas reportada y los parámetros que se han analizado en este trabajo, los cuales son pH, sílice, dureza, alcalinidad, conductividad, fosfatos, sulfitos y cloruros. Comparación de parámetros de calidad según la especificación AQA y los datos reales obtenidos en la industria.

Tabla 2. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD

PARAMETRO	PARÁMETROS DE CALIDAD SEGÚN AQA*			PARÁMETROS DE CALIDAD DENTRO DE LA INDUSTRIA		
	CALDERA	AGUA DE ALIMENTACION (Condensado pre)	VAPOR	CALDERA	AGUA DE ALIMENTACION (Condensado pre)	VAPOR
ALCALINIDAD "F"	8 - 14 ppm	2 - 8 ppm	2 - 8 ppm	10 ppm	0 ppm	n/a
ALCALINIDAD "M"	< 40 ppm	< 20 ppm	< 20 ppm	20 ppm	10 ppm	n/a
ALCALINIDAD "OH"	n/a	n/a	n/a	10 ppm	0 ppm	n/a
PH	8.6 – 9.2	8.0 a 8.7	8,0 - 8,7	9.12	8.9 ppm	8.46 ppm
SiO_2	< 10 ppm	0.2 ppm max	< 20 ppb	4.2 ppm	0.009 ppm	0.054 ppm
CONDUCTIVIDAD (TDS)	< 500 µs	<40 µs	< 15 µs	18.12 µs	5.69 µs	5.61 µs
FOSFATO	2 a 4 ppm	N/A	0,0 ppm	1.8 ppm	0.7 ppm	n/a
CLORUROS		< 10 ppm	-	15 ppm	16 ppm	n/a
Sulfito (Na_2SO_3)	5 - 10 ppm		-	3 ppm	2 ppm	n/a
DUREZA TOTAL	n/a	n/a	-	-	-	-
DUREZA MG	n/a	n/a	-	-	-	-

AQA*: Auditoria química ambiental S.C

Se observa en la tabla comparativa que el proceso cumple con la calidad del agua requerida en el proceso. Por otra parte el vapor que se produce tiene pH de arriba de 8 con una concentración promedio de sílice de 0.054 ppm, si aumenta esta concentración puede ocasionar la reducción de la eficiencia de las turbinas de vapor pues se forman depósitos cristalinos e incrustaciones duras en los alabes de ésta.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la calidad del agua constituye un factor determinante para la operación eficiente y segura de los sistemas de generación de vapor. La presencia de impurezas, sales disueltas y gases corrosivos en el agua de alimentación puede afectar significativamente el desempeño de las calderas, favoreciendo procesos de corrosión, incrustación y arrastre de sólidos que reducen la eficiencia térmica y aumentan los costos de mantenimiento.

El análisis realizado en el Ingenio La Gloria permitió verificar la efectividad del programa de tratamiento de agua implementado para el sistema de generación de vapor. La combinación de procesos de acondicionamiento externo e interno contribuyó al control adecuado de los principales parámetros fisicoquímicos evaluados, manteniéndolos dentro de los rangos recomendados para la operación de las calderas.

El tren de tratamiento, integrado por etapas de cloración, filtración con antracita, ultrafiltración, desmineralización, ablandamiento, desgasificación y ósmosis inversa, demostró ser una alternativa eficiente para la obtención de agua de alta calidad. Asimismo, la aplicación de productos químicos en el tratamiento interno permitió complementar la protección del sistema mediante el control de la dureza residual, la corrosión y la formación de depósitos.

Los parámetros evaluados, entre ellos conductividad, pH, dureza, sílice, sulfitos y fosfatos, presentaron un comportamiento estable durante el periodo de estudio, evidenciando la efectividad de las estrategias de control implementadas. Los valores registrados permanecieron dentro de los límites operacionales recomendados, minimizando el riesgo de formación de incrustaciones y el deterioro de las superficies metálicas de las calderas.

En particular, la recuperación y reutilización de condensados representó una ventaja significativa para el sistema, ya que contribuyó a mejorar la calidad del agua de alimentación y a disminuir la carga de contaminantes que debe ser removida durante el tratamiento. Esta práctica favorece además la reducción del consumo de agua y de los costos asociados a la operación del sistema.

En términos generales, los resultados confirman que el tratamiento integral aplicado en el sistema de generación de vapor permite mantener condiciones operativas adecuadas, incrementar la eficiencia energética de las calderas y prolongar la vida útil de los equipos. Por ello, se recomienda mantener un monitoreo continuo de los parámetros fisicoquímicos y optimizar periódicamente las estrategias de tratamiento, con el fin de garantizar la sostenibilidad y confiabilidad del proceso industrial.

REFERENCIAS

Alderetes C. (2016). Calderas a Bagazo: Proyecto, operación y mantenimiento. Argentina. P (107- 111).

Arroyo Vinueza, J. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor.

Barreiro E, Ghislieri D. (2010) Eliminación de gases disueltos. Desaireadores, Departamento de Tecnología y Servicios Industriales.

Bahamondes, P. (2010). Descripción de Calderas y Generadores de Vapor.

Barrera, M. Castelló Gómez, & Pérez Esteve. (2018). Aspectos básicos relacionados con el funcionamiento de una caldera.

Cardozo, S. (2010). Optimización del sistema de generación de vapor en una planta automotriz. Tesis de Grado, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

Cardozo, S. y Sánchez, Yamilet y D'Armas, Haydelba (2011). Tratamiento de agua para la generación de vapor con un sistema de suavizado y dosificación de productos químicos. Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, Vol. II, num 7, p. 35-50.

Escobar y Schafer, A. I. (2010). Sustainable Water for the Future: Water Recycling versus Desalination. Elsevier.

Frank N. Kemmer; John McCallion. (1995). Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. México: McGraw-Hill. P. 38-40.

Gonzalez, M. A. (1999). Análisis de riesgos del tratamiento del agua para calderas. Plaza y Valdés.

García, M (2012). Aplicación de la Ósmosis Inversa y Nanofiltración en el Acondicionamiento de Aguas para Calderas.

Gotti, D. (2018). Centrales termoeléctricas de biomasa: descripción de los principales tipos de caldera.

Lapeña, M. R. (1989). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales (Vol. 27). Marcombo.

Lucas, S. M., y García, R. (2018). El agua en la industria alimentaria. Boletín de la Sociedad Española de Hidrología, pp 157-171.

López, M. E. (2013). Evaluación de una planta desaladora de 100 m3/d para su empleo en agricultura (p. 49).

Manual de Procedimientos para el Laboratorio Químico de Aguas. Ingenio La Gloria.

Margarita Alba G., Dionisio Martínez S., y Alberto Sandoval C. (1999). Análisis de riesgos del tratamiento de agua para calderas. México, D.F: Ediciones Plaza y Valdés S.A de C.V.

Mathur, P. (2011) Reduce energy & water consumption by using polyamines/amines based all organic, phosphate free treatment, for boiler feed water. Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association. P 200- 202.

Mejía, J. y Orozco, W. (2008). Calderas de vapor. Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.

Muñoz S, Sánchez García R. (2015). Water in the food industry. 2016, de Universidad Complutense, Madrid (España) Sitio web: http://hidromed.org/hm.

Oelker, A. (s.f.). 2008. Artículo técnico: Costo de generación de vapor. Thermal Engineering Ltda., Chile. Documento en línea. Disponible en Internet: http://www.thermal.cl.

Orellano Inca, M. A. (2020). Auditoria del tratamiento de agua a caldera 200 Bhp en planta JJK SAC para desmineralizar el agua y reducir costos de generación de vapor.

Pardillos, R., Pérez, R. F., & María, E. (2010). Tratamientos del agua de una caldera de vapor. Zaragoza: Escuela Universitaria Ingenieria Tecnica Industrial.

Rodríguez Guerrero, g. (2010). Operación de Calderas Industriales; tratado práctico operacional. Santafé de Bogotá: Ecoce.

Ramírez, C. (2021). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Ediciones de la U.

Ríos Tobón, S., Agudelo Cadavid, R. M., & Gutiérrez Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano.

Saxxon, F. (2006). Tolley's Industrial and Commercial Gas Installation and Practice: Gas Service Technology. 4ta edición, Vol. 3. Gran Bretaña: Elsevier.

Sánchez Y. (2011). Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. II, núm. 7. Venezuela.

Sanabria Hernández, J. (2017). Plan de mantenimiento de calderas pirotubulares en Refinería Tenerife.

Santacruz Cerdá, I. (2018). Diseño óptimo de una planta de generación de vapor y energía.

Zhou, Y. (2012). Causes, analysis and treatment measures for excess SiO2 content in a 300MW unit boiler water. Advanced Materials Research. Pg. 361-362. (TIMES NEW ROMAN, CUERPO 12, SANGRIA FRANCESA 1,25)

ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD IMPLEMENTADAS POR LAS ORGANIZACIONES EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Loida Melgarejo Galindo[1]
Rosalía Janeth Castro Lara[2]
Doreidy Melgarejo Galindo[3]
Adael Arias Urquiza[4]

RESUMEN

La producción de bienes y servicios se incrementa de manera incesante, debido a la demanda generada por la población, situación que obliga a los productores y/o empresarios a ofrecer diversos productos. Escenario que implica la explotación de recursos donde los naturales son los más comprometidos. Lo anterior refleja la necesidad de establecer actividades que optimicen dicha producción, donde se cuide el proceso productivo, incluyendo los residuos que se generan en los procesos.

Hoy en día existen estrategias que coadyuvan al manejo y uso adecuado de los residuos, considerando los sólidos urbanos, donde se busca el aprovechamiento de los mismos, atendiendo el cuidado medioambiental y la circularidad.

De acuerdo a la investigación titulada Evaluación del modelo de economía circular implementado por las organizaciones en el manejo de residuos sólidos urbanos como estrategia de sostenibilidad, se considera al municipio de La Antigua, Veracruz, debido a su actividad económica como un generador de residuos de dicha clasificación. Aunado, se realiza el presente estudio con el objetivo de identificar las Estrategias de sostenibilidad implementadas por las organizaciones en el manejo de residuos sólidos urbanos. La metodología del estudio es descriptiva, trasversal y mixta. Se busca obtener información que sirva de beneficio para la zona.

Palabras clave: manejo de residuos, desarrollo sustentable, competitividad.

INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. loida.mg@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. rjaneth.cl@ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. doreidy.mg@ugalvan.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. L24880459@ugalvan.tecnm.mx

consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos. (SEMARNAT, 2025).

Dichos residuos se consideran unos de los mas generados por la sociedad y por las organizaciones, por ejemplo, de acuerdo a la SEMARNAT, en México se generan diariamente 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados. (2017).

Lo que indica que desafortunadamente no existe un adecuado manejo de residuos de dicha clasificación, y hace necesario el establecimiento de estrategias de sostenibilidad para minimizar el impacto negativo que ocasionan dichos residuos en el medio ambiente, en los seres visos, en la sociedad y en las organizaciones. En la actualidad, es conocido que el manejo adecuado de residuos además de beneficios ambientales conlleva a oportunidades económicas tanto para personas fiscas como morales. Por ello es necesaria la implementación de estrategias de sostenibilidad que permitan una oportunidad de acceso a dichos beneficios.

La sostenibilidad ambiental representa un conjunto de restricciones en el uso de recursos renovables y no renovables para la producción de bienes y servicios, así como en la contaminación y la generación de residuos derivada de su consumo (Elliot, 2011). Al considerar estas exigencias en las organizaciones, puede ser asumida una posición reactiva básica que se ocupe de darles cumplimiento (Klassen, 2001).

Las organizaciones, como parte fundamental de la estructura social, pueden trazarse metas que respondan a las exigencias ambientales e incorporen la visión ecocéntrica, a la par que cuidan sus intereses. En este contexto, se entenderá por sostenibilidad ambiental lo que Rajala, et. al. (2016) definen como el fortalecimiento de la ventaja competitiva mientras se preservan los recursos naturales para las generaciones futuras. Esto implica trascender una posición reactiva frente a las normas y políticas que le obligan a minimizar su impacto ambiental (Sudin, 2011), para entenderlo como una prioridad competitiva que permite alcanzar un mejor desempeño organizacional.

Es importante que las empresas establezcan estrategias de sostenibilidad que fomenten la conservación y aprovechamiento de los recursos, los materiales e incluso los residuos generados. Al respecto, Prieto-Sandoval, Jaca, & Ormazabal, (2017), establecen la metodología de economía circular la cual es un “paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible”.

> Una economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables. Funciona de manera efectiva a cualquier escala. (Cerdá& Khalilova, 2016).

Al respecto abordamos el presente tema que hace referencia a la implementación de estrategias sostenibles en el manejo de residuos solidos urbanos, identificando las estrategias tales como separación, clasificación, reciclaje y reutilización de los mismos, por parte de las organizaciones de la población objeto de estudio.

METODOLOGÍA

La investigación pertenece al proyecto titulado “Evaluación del manejo de residuos en las organizaciones como referente de economía circular para la sostenibilidad” (Melgarejo, 2025), mismo que se desarrolló en diversos municipios en cual se desarrolla en municipios de la zona centro del estado de Veracruz, y en este caso nos enfocamos al municipio de La Antigua, Ver. Teniendo como objeto de estudio las empresas de los giros comercial, industrial y de servicios y como sujeto s los responsables o empleados de dichas organizaciones.

La metodología empleada es descriptiva, al enfocarse a describir las estrategias de sostenibilidad implementadas por las organizaciones en el manejo de residuos sólidos urbanos. Además, contempla una metodología mixta que busca identificar y cuantificar las estrategias de sostenibilidad en los RSU. Para el estudio, la población se consideró de acuerdo al Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), se identificó una población de 2239 unidades económicas; para la obtener el tamaño de la muestra, se consideró una fórmula para poblaciones finitas, con 95% de confianza y 5% de error, dando como resultado un total de 328 empresas para encuestar.

En la investigación de campo, se emplearon las técnicas de observación, entrevistas y encuestas, utilizando como instrumento un cuestionario estructurado conformado por 27 preguntas, tipo escala de Likert y escala de valoración, constituido por las dimensiones de las actividades del programa de manejo de residuos enfocado a la economía circular. Dicho instrumento de primera instancia se aplicó a una primera muestra de las empresas del municipio de Úrsulo Galván, al ser más cercano geográficamente a la institución de adscripción, posteriormente se continuó con la aplicación a los otros municipios entre ellos de La Antigua, durante el periodo de febrero a septiembre 2025.

Con los datos obtenidos, se realizó la representación, análisis e interpretación y obtención de resultados, utilizando hoja de cálculo y el programa estadístico SPSS.]

RESULTADOS

Una vez aplicado el instrumento, se procedió a realizar el análisis de datos obteniendo los resultados que a continuación se presentan:

Los residuos sólidos urbanos (RSU) generados con mayor frecuencia en las organizaciones del municipio de la Antigua, el mayor porcentaje con 30% corresponde a plásticos, 22% papel, 18% restos de comida, 16% cartón vidrios y metales, y 7% y 6%, respectivamente. (figura 1)

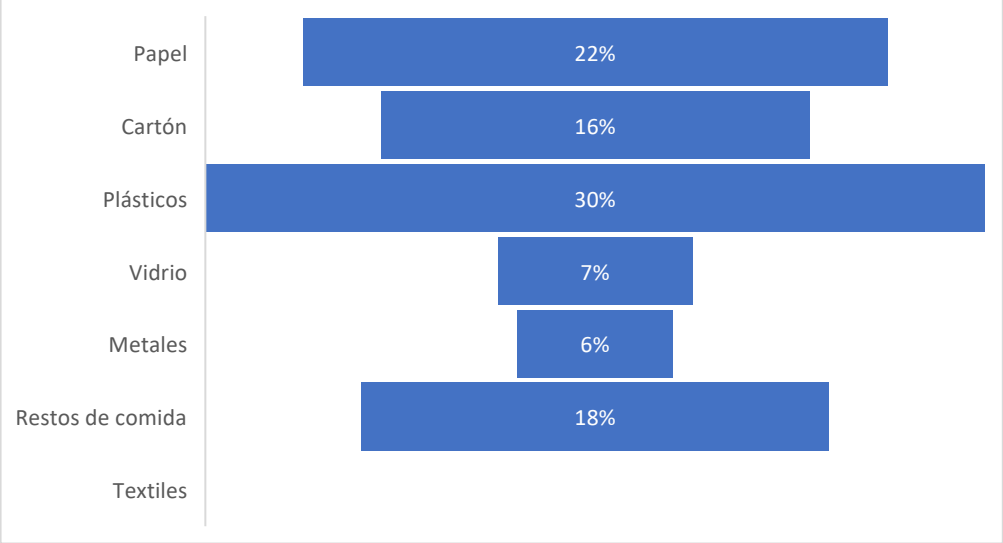


Figura 1. RSU generados con mayor frecuencia en el municipio de La Antigua

La estrategia de separación de basura es una actividad que el 31% de las empresas la implementa ocasionalmente, el 23% casi nunca, el 19% frecuentemente el 15% nunca y solo el 12% de las organizaciones muy frecuénteme. (figura 2)

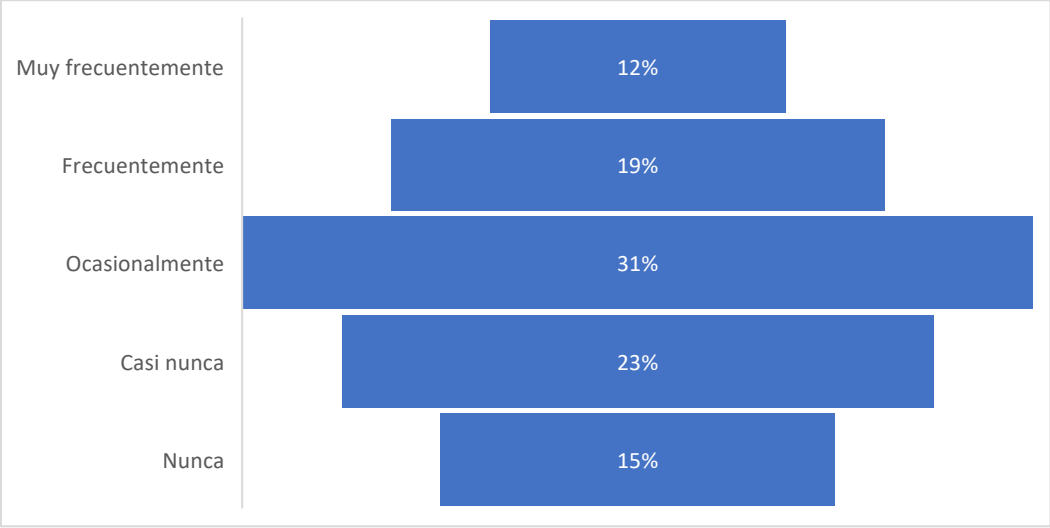


Figura 2. Frecuencia de implementación de estrategia de separación de basura en las empresas.

A consecuencia de la como clasifican la basura, en las organizaciones indicaron que 42% en orgánicos como restos de comida y jardín, el 35% en inorgánicos reciclables como PET, cartón, vidrio, y el 23% en inorgánicos no reciclables como deshechos sanitarios. (figura 3).

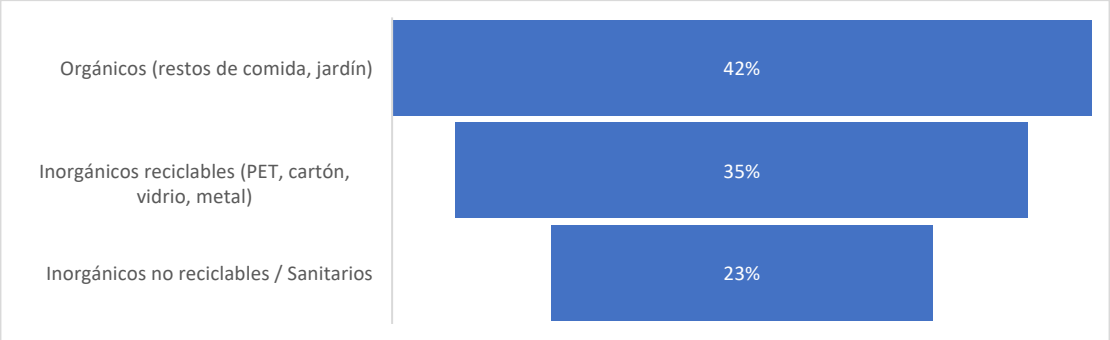


Figura 3. Categoría de separación de residuos desempeñado por las empresas.

En cuanto a la frecuencia de reciclaje de los RSU generados por las empresas, el 31% indicó que lo realiza ocasionalmente, el 23% muy frecuentemente, 19% frecuentemente, 15% casi nunca y el 12% respondió nunca reciclar los RSU. (Figura 4)

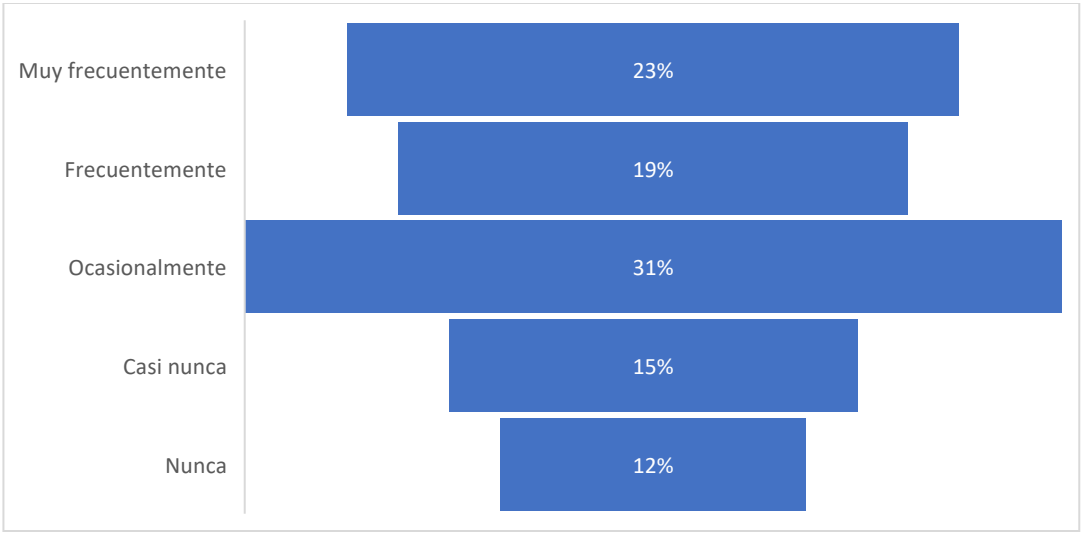


Figura 4. Frecuencia de reciclaje de RSU realizada por las empresas.

La reutilización es otra estrategia de sostenibilidad, en su caso el 54% de las empresas indicó realizarla frecuentemente, 23% ocasionalmente, 15% muy frecuentemente y el 8% casi nunca los reutiliza. (figura 5)

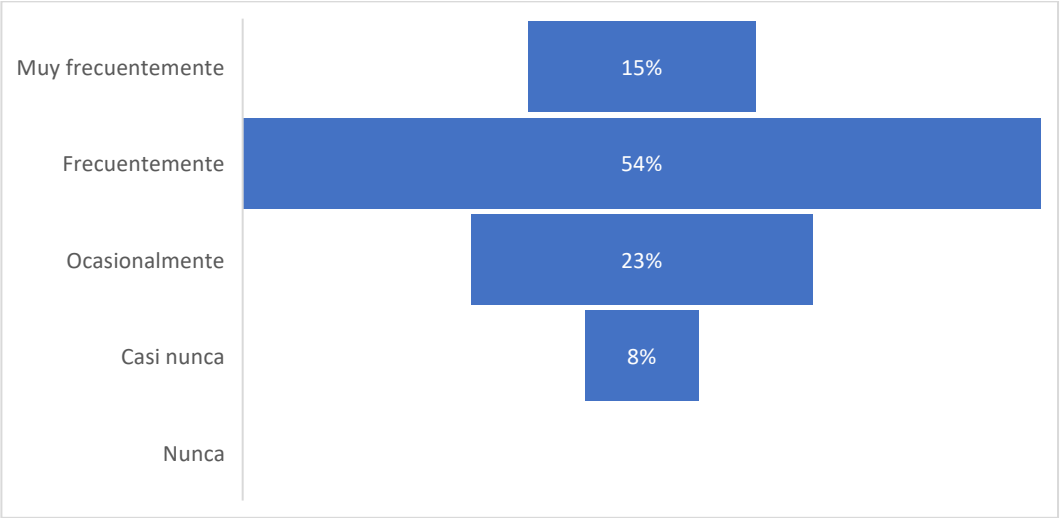


Figura 5. Frecuencia de reutilización de RSU realizada por las empresas.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio se puede concluir que existe un porcentaje considerable en la generación de RSU y que en su caso los de mayor generación son plásticos y papel, representando con un 52% del total.

Dichos residuos en su mayoría no se clasifican para su manejo, ya que el 69% indicó que ocasionalmente a nunca hacen algún tipo de separación, el 31% de las empresas que indicaron que, si la separan frecuentemente a muy frecuentemente, lo realizan en las categorías de orgánicos, inorgánicos reciclables e inorgánicos no reciclables.

En cuanto a la estrategia de reciclaje de los RSU generados por las empresas, es una actividad que en su mayoría no se desarrolla, esto representado por el resultado del 52% reflejando mayoría que respondieron que ocasionalmente a nunca.

A diferencia de la anterior estrategia, la reutilización es una actividad mayormente implementada, indicado en el porcentaje del 69% de empresas que especificaron emplearla de frecuentemente y muy frecuentemente.

REFERENCIAS

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT, 2017). Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial Introducción al tema de manejo residuos. Recuperado de https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial

DENUE (2025). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx

Elliot, S. (2011). Transdisciplinary Perspectives on Environmental Sustainability: A Resource Base and Framework for It-Enabled Business Transformation. *MIS Quarterly*, 35(1), 197-236. https://doi.org/10.2307/23043495. [Links]

Klassen, (2001). Plant-level Environmental Management Orientation: The Influence of Management Views and Plant Characteristics. *Production and Operations Management*, 10(3), 257. https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001 .tb00374.x. [Links]

Rajala, R., Westerlund, M., Lampikoski, T. (016). Environmental Sustainability in Industrial Manufacturing: Re-examining the Greening of Interface's Business Model. *Journal of Cleaner Production*, *115*, 52-61. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.057 [Links]

Sudin, S. (2011). Strategic Green HRM: A Proposed Model that Supports Corporate Environmental Citizenship.. *International Conference on Sociality and Economics Development,* IPEDR, 10, 79-83. http://www.ipedr.com/vol10/16-E10014.pdf. [Links]

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. Memoria Investigaciones en ingeniería.

Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, *401*(3), 11-20.

INNOVACIÓN PRODUCTIVA COMO ESTRATEGIA PARA FORTALECER LA ADMINISTRACIÓN DE SISTEMAS INTEGRALES DE CALIDAD EN MIPYMES MEXICANAS

Andrés Guadalupe Flores Flores[1]
Melina Limón Lili[2]
Selene Magdala Ramos Cortés[3]

RESUMEN

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) sostienen la mayor parte del tejido económico mexicano; sin embargo, enfrentan limitaciones de productividad, digitalización, financiamiento, capacitación y formalización de procesos. El presente artículo analiza la innovación productiva como estrategia para fortalecer la administración de sistemas integrales de calidad en MIPYMES mexicanas. La investigación se desarrolló mediante revisión documental cualitativa-descriptiva, con base en información del INEGI, OCDE, CEPAL, OMPI, ISO, Diario Oficial de la Federación y literatura académica sobre calidad e innovación. Los resultados muestran que la baja inversión en investigación y desarrollo, la limitada adopción tecnológica y la escasa certificación en sistemas de gestión de calidad reducen la capacidad competitiva de las empresas. Se propone que la innovación productiva funcione como eje articulador entre mejora continua, gestión por procesos, digitalización básica, indicadores de desempeño y acceso a cadenas de valor impulsadas por el nearshoring.

Palabras clave: innovación productiva, sistemas integrales de calidad, MIPYMES, competitividad, mejora continua.

INTRODUCCIÓN

Las MIPYMES mexicanas constituyen un sector decisivo para el empleo, la actividad económica regional y la movilidad social. Su presencia es especialmente importante en comercio, servicios, manufactura ligera y actividades familiares o comunitarias. No obstante, su peso cuantitativo contrasta con una productividad limitada, con baja incorporación de tecnología, escasa capacitación, procesos poco documentados y una débil cultura de medición. Esta situación provoca que muchas empresas sobrevivan con base en la experiencia del propietario, pero sin convertir ese conocimiento en procedimientos, indicadores o sistemas formales de mejora.

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. andres.ff@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. melina.ll@veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. selene.rc@veracruz.tecnm.mx

El problema central no se reduce a la ausencia de certificaciones. Una empresa puede contar con documentos de calidad y, aun así, mantener procesos ineficientes; del mismo modo, puede innovar de manera empírica sin lograr resultados sostenibles. Por ello, la discusión contemporánea exige integrar dos enfoques: la innovación productiva y la administración de sistemas integrales de calidad. La primera se refiere a la mejora de productos, procesos, métodos de trabajo, tecnologías, organización de operaciones y formas de producir valor. La segunda implica planear, ejecutar, verificar y mejorar procesos bajo criterios de calidad, evidencia, prevención de riesgos y satisfacción del cliente.

En México, la oportunidad del nearshoring vuelve más urgente esta articulación. La relocalización de cadenas productivas genera demanda de proveedores capaces de cumplir estándares técnicos, tiempos de entrega, trazabilidad, formalidad fiscal, calidad constante y capacidad de mejora. Sin embargo, muchas MIPYMES no pueden integrarse a esas cadenas porque carecen de sistemas de gestión, financiamiento, personal capacitado y herramientas de control. La innovación productiva, entendida de manera práctica y gradual, puede funcionar como puente entre el negocio tradicional y la empresa competitiva.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-descriptivo de tipo documental. Se analizaron fuentes oficiales, normativas y académicas relacionadas con MIPYMES, innovación, productividad, calidad, competitividad, certificaciones y política pública.

El contenido conceptual se organizó a partir de tres ejes. El primero fue la innovación productiva, entendida como la introducción de mejoras en productos, procesos, métodos de producción, gestión de recursos y organización operativa que generan valor medible. Esta visión se relaciona con el Manual de Oslo 2018, que reconoce la innovación de producto y la innovación de proceso de negocio como categorías centrales. Para las MIPYMES, la innovación no siempre implica alta tecnología; también puede expresarse en rediseño de flujos de trabajo, reducción de desperdicios, control de inventarios, estandarización, capacitación técnica, digitalización de registros o mejora del servicio.

El segundo eje fue la administración de sistemas integrales de calidad. Aunque el Sistema de Gestión de la Calidad se vincula principalmente con ISO 9001, un sistema integral puede articular calidad, medio ambiente, seguridad, riesgos, satisfacción del cliente, indicadores y mejora continua. La norma ISO 9001:2015, adoptada en México como NMX-CC-9001-IMNC-2015, se fundamenta en principios como enfoque al cliente, liderazgo, compromiso de las personas, enfoque a procesos, mejora, decisiones basadas en evidencia y gestión de relaciones. Estos principios son relevantes porque convierten la calidad en una forma de administración, no solo en un requisito documental.

El tercer eje fue la competitividad de las MIPYMES. Se consideraron elementos como tamaño de empresa, sector económico, región, disponibilidad de financiamiento, capital humano, informalidad, adopción tecnológica y acceso a mercados.

Las microempresas enfrentan condiciones distintas a las pequeñas y medianas, por lo que un modelo de calidad e innovación debe ser gradual y proporcional.

El procedimiento de análisis se realizó en cuatro etapas.

Primero, se identificaron datos cuantitativos recientes sobre estructura empresarial, innovación, capacitación, uso de tecnologías y certificaciones.

Segundo, se clasificó la información en categorías: barreras de innovación, barreras de calidad, beneficios esperados, condiciones de adopción y oportunidades de nearshoring. Tercero, se compararon los hallazgos con la literatura académica sobre calidad e innovación.

Cuarto, se integró una propuesta conceptual de innovación productiva aplicable a sistemas integrales de calidad en MIPYMES.

Como resultado del análisis se plantea un modelo de madurez en cuatro niveles.

El modelo de madurez propuesto reconoce que la certificación ISO 9001 puede ser deseable, pero no siempre inmediata. Una microempresa puede iniciar con control de quejas y entregas; una pequeña empresa puede avanzar hacia procedimientos y auditorías internas; una mediana empresa puede integrar calidad, seguridad, medio ambiente e innovación. La clave es que el sistema crezca junto con la capacidad real de la organización

RESULTADOS

Modelo propuesto de madurez

Este modelo permite evaluar el avance de una MIPYME desde una gestión empírica hasta una gestión competitiva. Facilita la aplicación gradual de prácticas de calidad, mejora continua e innovación productiva sin exigir que la empresa implemente de inmediato un sistema complejo.

Tabla 1. Interpretación rápida: nivel 1 = desorden operativo; nivel 2 = control básico; nivel 3 = integración entre calidad e innovación; nivel 4 = competitividad sostenible.

Nivel	Nombre del nivel	Situación de la MIPYME	Características principales	Acciones para avanzar
Nivel 1	Inicial o reactivo	Trabaja de manera empírica, sin procesos claros ni control formal de calidad.	No hay procedimientos documentados. Las decisiones se toman por experiencia o urgencia. Se presentan errores, retrabajos, desperdicios y poca medición. La innovación ocurre de forma ocasional.	Identificar procesos básicos, registrar problemas frecuentes, establecer responsables y comenzar a medir fallas, tiempos, costos y quejas de clientes.

Nivel 2	Organizado o estandarizado	Empieza a ordenar sus actividades y a establecer reglas básicas de operación.	Se documentan procesos esenciales. Se aplican controles simples de calidad. Hay mayor orden en compras, producción, ventas o servicio. Se usan listas de verificación, formatos, inventarios y control de entregas.	Capacitar al personal, aplicar el ciclo PHVA, definir indicadores de calidad y productividad, y comenzar acciones de mejora continua.
Nivel 3	Integrado e innovador	Relaciona la calidad con la mejora de procesos y la innovación productiva.	Los procesos están conectados entre áreas. Se usan indicadores para decidir. La empresa mejora productos, servicios o procesos con base en datos. Puede iniciar digitalización, reducción de desperdicios, control de defectos y mejoras tecnológicas básicas.	Integrar calidad, productividad e innovación en un solo sistema de gestión. Prepararse para certificaciones, fortalecer la capacitación técnica y vincularse con proveedores, clientes o instituciones de apoyo.
Nivel 4	Competitivo y sostenible	Tiene una gestión madura, medible y orientada a la competitividad.	Cuenta con procesos estables, mejora continua, innovación sistemática y cultura de calidad. Puede cumplir requisitos de clientes grandes, cadenas de suministro o mercados internacionales. Está en condiciones de buscar certificaciones como ISO 9001.	Mantener auditorías internas, actualizar indicadores, invertir en innovación, adoptar tecnología, fortalecer certificaciones y buscar acceso a mercados de mayor valor.

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis documental de la investigación.

Nivel 1. Inicial o reactivo

En este primer nivel, la MIPYME opera principalmente con base en la experiencia del dueño, del encargado o de los trabajadores. No existe una estructura formal para controlar la calidad, documentar procesos o medir resultados. Las actividades se realizan de acuerdo con la urgencia del día, por lo que es común encontrar errores repetidos, retrabajos, desperdicio de materiales, retrasos en entregas y poca claridad sobre las responsabilidades de cada persona.

La innovación en este nivel es ocasional. Puede surgir cuando aparece un problema o cuando un cliente exige un cambio, pero no forma parte de una estrategia planeada. Para avanzar, la empresa debe empezar por reconocer sus procesos básicos, registrar fallas frecuentes, identificar causas principales y establecer controles sencillos como listas de verificación, bitácoras, responsables y medición de quejas o defectos.

Nivel 2. Organizado o estandarizado

En este nivel, la empresa comienza a ordenar su operación. Ya no depende únicamente de la memoria o experiencia del personal, sino que empieza a documentar actividades importantes, establecer responsables y usar formatos simples para controlar compras, producción, ventas, inventarios, entregas o atención al cliente. Esto permite que el trabajo sea más estable y menos improvisado.

La calidad empieza a gestionarse mediante controles básicos, aunque todavía no existe un sistema integral. La innovación se orienta a mejorar la forma de trabajar, reducir errores y evitar pérdidas. Para avanzar al siguiente nivel, la MIPYME debe capacitar al personal, aplicar el ciclo PHVA, definir indicadores básicos de productividad y calidad, y promover acciones de mejora continua.

Nivel 3. Integrado e innovador

En el tercer nivel, la empresa ya no ve la calidad como una actividad aislada, sino como parte de su forma de administrar. Las áreas comienzan a conectarse entre sí: producción, compras, ventas, almacén, servicio al cliente y administración trabajan con objetivos relacionados. La empresa utiliza datos e indicadores para detectar problemas, tomar decisiones y mejorar sus procesos.

Aquí la innovación productiva se vuelve más clara. La MIPYME puede modificar procesos, mejorar productos, reducir desperdicios, digitalizar registros, reorganizar tiempos de trabajo o incorporar tecnología básica. Para avanzar al nivel cuatro, necesita integrar calidad, productividad e innovación en un solo sistema de gestión, fortalecer la capacitación técnica y prepararse para cumplir requisitos más formales, como auditorías internas o certificaciones.

Nivel 4. Competitivo y sostenible

En este nivel, la MIPYME alcanza una gestión madura. Sus procesos son estables, medibles y mejorables; existe una cultura de calidad en la que el personal participa, se corrigen fallas con base en datos y la innovación se realiza de manera constante. La empresa no solo resuelve problemas, sino que se anticipa a ellos y busca oportunidades para competir mejor.

Una empresa en este nivel puede responder a clientes más exigentes, integrarse a cadenas de suministro, buscar certificaciones como ISO 9001 y competir en mercados de mayor valor. La innovación productiva ya forma parte de la estrategia empresarial, por lo que se mantiene mediante auditorías internas, indicadores actualizados, capacitación, adopción tecnológica y mejora continua permanente.

Los niveles de madurez y los componentes de la investigación

La siguiente tabla ayuda a entender cómo se conectan los cuatro niveles del modelo de madurez con los componentes centrales de la investigación: innovación productiva, sistema integral de calidad, características de la MIPYME y competitividad. Los componentes indican qué se evalúa y los niveles muestran qué tan avanzada se encuentra la empresa.

Tabla 2.

Nivel de madurez	Innovación productiva	Sistema integral de calidad	Características de la MIPYME	Resultado en productividad y competitividad
Nivel 1: Inicial o reactivo	La innovación casi no existe o aparece de manera improvisada. La empresa cambia algo solo cuando hay problemas, quejas o urgencias.	No hay procesos documentados ni controles formales. La calidad depende de la experiencia del dueño o de los trabajadores.	Generalmente son microempresas con pocos recursos, poca tecnología, escasa capacitación y decisiones centralizadas.	Hay errores frecuentes, retrabajos, desperdicios, baja eficiencia y dificultad para competir con empresas más organizadas.
Nivel 2: Organizado o estandarizado	La empresa empieza a realizar mejoras básicas en sus productos, servicios o procesos, aunque todavía no tiene una estrategia formal de innovación.	Se documentan actividades principales, se usan formatos, listas de verificación, registros de fallas y controles sencillos.	La MIPYME comienza a asignar responsables, ordenar inventarios, capacitar de forma básica y usar herramientas administrativas simples.	Disminuyen algunos errores, mejora el orden interno y la empresa empieza a controlar mejor tiempos, costos y calidad.
Nivel 3: Integrado e innovador	La innovación ya se usa como herramienta para mejorar procesos, reducir desperdicios, incorporar tecnología básica o rediseñar productos y servicios.	La calidad se conecta con varias áreas de la empresa. Se utilizan indicadores, mejora continua, análisis de causas y toma de decisiones con datos.	Suelen ser pequeñas o medianas empresas con mayor estructura, personal capacitado y capacidad para invertir en mejoras.	Aumenta la productividad, mejora la satisfacción del cliente, se reducen fallas y la empresa puede prepararse para certificaciones o proveeduría.
Nivel 4: Competitivo y sostenible	La innovación es continua, planeada y estratégica. La empresa mejora de forma permanente e incorpora tecnología, alianzas y aprendizaje organizacional.	Existe una cultura de calidad consolidada. Puede haber auditorías internas, certificaciones, trazabilidad, mejora continua y cumplimiento de requisitos de clientes grandes.	La MIPYME cuenta con procesos maduros, personal capacitado, liderazgo, recursos mejor administrados y visión de crecimiento.	La empresa logra mayor competitividad, puede integrarse a cadenas de valor, acceder a mercados de mayor exigencia y sostener mejores resultados.

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis documental de la investigación.

El quinto componente es la mejora continua. Una vez medidos los procesos, la empresa puede aplicar acciones de bajo costo: redistribución de áreas de trabajo, eliminación de movimientos innecesarios, capacitación cruzada, mantenimiento preventivo, negociación con proveedores, ajuste de rutas de entrega o rediseño de empaques. Estas acciones, aunque parezcan pequeñas, representan innovación productiva porque modifican la forma de operar y elevan el desempeño de la empresa.

El cuarto componente es la medición por indicadores. La administración de la calidad exige evidencia, y la innovación productiva requiere saber si la mejora funcionó. Se proponen indicadores básicos: porcentaje de entregas a tiempo, número de devoluciones, defectos por lote, tiempo promedio de atención, rotación de inventario, cumplimiento de producción, costo de desperdicio, satisfacción del cliente y productividad por trabajador. Estos indicadores deben revisarse periódicamente para generar decisiones y no solo reportes.

El tercer componente es la digitalización funcional. Muchas MIPYMES no requieren sistemas costosos de planeación empresarial en una primera etapa; pueden comenzar con hojas de cálculo, formularios digitales, aplicaciones de inventario, agendas compartidas, facturación electrónica organizada y tableros sencillos. Lo importante es que la información sea confiable, oportuna y útil. La digitalización no debe ser un fin en sí mismo, sino un medio para mejorar control, comunicación y trazabilidad.

El segundo componente es la estandarización mínima viable. No se trata de generar manuales extensos, sino de documentar aquello que evita errores recurrentes. Por ejemplo, instrucciones de trabajo, listas de verificación, criterios de aceptación, registros de compras, control de inventario y seguimiento de quejas. Esta estandarización reduce la dependencia absoluta del propietario y permite que el conocimiento permanezca en la organización. Además, facilita la capacitación de nuevo personal y la continuidad operativa.

El primer componente de la propuesta es el diagnóstico de procesos. En esta etapa se identifican actividades principales y de apoyo, responsables, entradas, salidas, tiempos de ciclo, puntos de falla y quejas frecuentes. Una herramienta sencilla es el mapa de proceso, que permite visualizar dónde se generan retrasos o duplicidades. Para una microempresa, este diagnóstico puede realizarse con formatos simples; para una pequeña o mediana empresa, puede complementarse con indicadores de productividad, costos de no calidad y análisis de causa raíz.

Los resultados permiten identificar una doble brecha estructural. Por un lado, las MIPYMES representan casi la totalidad de las unidades económicas del país y sostienen una parte importante del empleo; por otro, su contribución al valor agregado es menor en relación con su número. Esto revela una dificultad persistente para transformar trabajo, experiencia y presencia territorial en productividad, innovación y competitividad sostenida.

La primera brecha corresponde a la innovación productiva. La evidencia documental muestra que la inversión mexicana en investigación y desarrollo se mantiene por debajo del promedio de países de la OCDE. Esta condición limita la generación de conocimiento, la adopción tecnológica y la formación de capacidades empresariales. En el caso de las MIPYMES, la situación es más crítica porque sus recursos se destinan principalmente a operación diaria, nómina, inventario y obligaciones inmediatas, dejando poco margen para capacitación, rediseño de procesos o inversión tecnológica.

La ENAPROCE 2018 confirma que muchas MIPYMES presentan baja adopción de equipo de cómputo, internet, capacitación y actividades tecnológicas sistemáticas. Este dato es relevante porque la innovación productiva requiere información oportuna: costos, tiempos, defectos, ventas, inventarios, quejas, productividad y cumplimiento de entregas. Cuando esos datos no existen o se registran de forma manual desordenada, la empresa decide por intuición y no por evidencia.

La segunda brecha se relaciona con la administración de la calidad. En numerosas MIPYMES, la calidad se entiende como inspección final o corrección de errores, no como sistema preventivo. Esto genera retrabajos, desperdicios, variaciones en el producto, incumplimiento de entregas y pérdida de clientes. Además, la certificación ISO 9001 suele percibirse como costosa, burocrática o diseñada para grandes empresas, por lo que muchas organizaciones pequeñas la descartan antes de analizar sus beneficios operativos.

Los datos de certificación ISO muestran que México cuenta con un número reducido de certificados ISO 9001 en comparación con el universo total de empresas. Aunque no todas las MIPYMES necesitan certificarse de inmediato, la baja adopción de sistemas formales indica un rezago en documentación, control, trazabilidad y mejora continua. Esta situación se vuelve problemática cuando las empresas buscan participar como proveedoras de cadenas industriales, donde la calidad comprobable es condición mínima de entrada.

Los casos documentados de mejora continua en empresas mexicanas permiten observar beneficios concretos. Intervenciones con Lean Six Sigma, mapeo de procesos, Programa Maestro de Producción, MRP, Kaizen y control de defectos han reportado reducción de errores, ahorro de costos, mejor uso del espacio, disminución de inventarios y aumento de confiabilidad del proceso. Estos resultados son relevantes porque demuestran que la innovación productiva no siempre requiere una inversión tecnológica sofisticada; en muchos casos inicia con medir, ordenar, estandarizar y mejorar.

El análisis también evidencia diferencias por tamaño y sector. Las microempresas enfrentan más barreras para innovar y certificar: menor acceso a financiamiento, baja capacitación, informalidad, dependencia del propietario y escasez de personal especializado. Las pequeñas y medianas empresas tienen mayor posibilidad de adoptar sistemas de gestión, pero aún enfrentan costos de consultoría, resistencia al cambio y falta de tiempo. Por sector, la manufactura muestra mayor necesidad de estandarización y trazabilidad, mientras que comercio y servicios requieren enfocarse en experiencia del cliente, tiempos de atención, control de inventarios y consistencia del servicio.

El factor regional también influye. Las entidades con mayor dinamismo industrial, infraestructura y presencia de clústeres suelen ofrecer mejores condiciones para vincular innovación y calidad. En cambio, regiones con menor competitividad enfrentan carencias de financiamiento, capacitación, vinculación tecnológica y redes empresariales. En este contexto, Veracruz y otras entidades del sur-sureste requieren estrategias específicas para que sus MIPYMES no queden fuera de las oportunidades de integración productiva.

El nearshoring aparece como un catalizador externo. Las cadenas globales de valor demandan proveedores con capacidad de cumplimiento, certificaciones, formalidad, trazabilidad y mejora

continua. Para las MIPYMES, esto representa una oportunidad, pero también un filtro. Las empresas que logren profesionalizar procesos podrán acceder a nuevos mercados; las que permanezcan en esquemas informales o empíricos enfrentarán exclusión. Así, la innovación productiva y los sistemas integrales de calidad se convierten en condiciones estratégicas para competir.

Se propone un enfoque de innovación productiva para sistemas integrales de calidad en cinco componentes.

El primero es el diagnóstico operativo, que identifica procesos críticos, desperdicios, defectos, tiempos muertos y riesgos.

El segundo es la estandarización mínima viable, basada en procedimientos sencillos, responsables definidos y registros útiles.

El tercero es la digitalización funcional, que incorpora herramientas accesibles para ventas, inventarios, quejas, producción y entregas.

El cuarto es el tablero de indicadores, con métricas de calidad, productividad, costos, satisfacción del cliente y cumplimiento.

El quinto es la mejora continua con aprendizaje organizacional, mediante reuniones periódicas, análisis de causas y capacitación del personal.

Este enfoque no exige que la MIPYME inicie con una certificación completa. Propone una ruta progresiva: primero ordenar procesos, después medir, luego mejorar y finalmente certificar cuando exista madurez suficiente. La certificación deja de ser un gasto aislado y se convierte en la consecuencia natural de un sistema que ya genera valor. De esta manera, la innovación productiva fortalece la calidad porque transforma la mejora en práctica cotidiana.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados confirman que el principal desafío de las MIPYMES mexicanas no es únicamente tecnológico, sino administrativo y cultural. Innovar no significa comprar maquinaria costosa ni automatizar sin diagnóstico; significa modificar la forma en que la empresa produce, registra, aprende y toma decisiones. Desde esta perspectiva, la innovación productiva tiene mayor impacto cuando se integra a un sistema de calidad que ordena los procesos y convierte la experiencia en conocimiento organizacional.

La administración de sistemas integrales de calidad ofrece una estructura para reducir improvisación. Sin embargo, en MIPYMES debe evitarse una aplicación excesivamente documental. Un modelo pensado para pequeñas empresas debe ser simple, económico y orientado a resultados. La calidad debe responder preguntas concretas: qué proceso genera más errores, dónde se pierde tiempo, qué

actividad no agrega valor, qué quejas se repiten, qué indicador muestra deterioro y qué mejora puede aplicarse con los recursos disponibles.

La evidencia internacional sobre calidad e innovación muestra una tensión relevante. Por un lado, la formalización mejora la consistencia y reduce variabilidad; por otro, un exceso de reglas puede limitar la creatividad. En las MIPYMES mexicanas, el riesgo mayor no parece ser la rigidez, sino la falta de estructura. Por ello, antes de hablar de innovación disruptiva, muchas empresas necesitan innovación incremental: ordenar, medir, capacitar, documentar lo esencial y aplicar mejora continua.

El nearshoring intensifica esta necesidad porque eleva los requisitos de entrada a mercados industriales. Una MIPYME puede tener buen producto, experiencia y ubicación estratégica, pero si no demuestra calidad, trazabilidad y capacidad de cumplimiento, difícilmente será considerada proveedor confiable. En este sentido, el sistema de calidad funciona como lenguaje común entre la empresa local y la cadena global. La innovación productiva permite que ese lenguaje no se limite a documentos, sino que se traduzca en productividad real.

También se observa que las políticas públicas deben avanzar hacia instrumentos más focalizados. No basta con promover financiamiento general; se requieren apoyos vinculados a diagnósticos de productividad, adopción de herramientas digitales, capacitación técnica, certificación progresiva y vinculación con empresas tractoras. Además, sería conveniente establecer metas cuantitativas de MIPYMES capacitadas, digitalizadas, certificadas o incorporadas a cadenas de proveeduría.

La propuesta planteada aporta una ruta práctica: iniciar por procesos críticos y no por documentos extensos. La MIPYME puede seleccionar un área prioritaria, medir su desempeño, aplicar herramientas básicas de calidad, digitalizar registros, revisar indicadores y ajustar procedimientos. Este ciclo permite resultados visibles en menor tiempo, lo que reduce resistencia al cambio y mejora la percepción de utilidad del sistema de calidad.

La innovación productiva constituye una estrategia pertinente para fortalecer la administración de sistemas integrales de calidad en MIPYMES mexicanas. Su valor radica en que conecta la mejora de procesos con la competitividad, permitiendo que la calidad deje de entenderse como requisito documental y se convierta en una práctica de gestión orientada a resultados.

La problemática identificada es real y estructural: las MIPYMES son mayoritarias en el país, pero enfrentan baja productividad, limitada adopción tecnológica, escasa capacitación, poco acceso a financiamiento y reducida implementación de sistemas formales de calidad. Estas condiciones restringen su crecimiento y dificultan su integración a cadenas de mayor valor.

El estudio muestra que la calidad y la innovación no deben analizarse por separado. La calidad aporta orden, medición, prevención y mejora continua; la innovación aporta cambio, adaptación, productividad

y valor. Cuando ambas se articulan, la empresa fortalece su capacidad para satisfacer al cliente, reducir errores, controlar costos, aprender de sus procesos y competir en mercados más exigentes.

La propuesta de un enfoque gradual, basado en diagnóstico operativo, estandarización mínima viable, digitalización funcional, indicadores y mejora continua, ofrece una alternativa realista para MIPYMES que no pueden adoptar de inmediato modelos complejos o certificaciones costosas. La certificación debe entenderse como una etapa de madurez, no como el punto de partida obligatorio.

El contexto del nearshoring abre una oportunidad significativa para México, pero solo será aprovechada por las MIPYMES si fortalecen sus capacidades internas. Para futuras investigaciones se recomienda aplicar el modelo propuesto en empresas reales, medir cambios en productividad, costos, defectos y satisfacción del cliente, y comparar resultados por sector, tamaño y región.

La competitividad no depende únicamente de vender más, sino de producir mejor, aprender más rápido y controlar la variabilidad. En un entorno de competencia internacional, la MIPYME que no mide sus procesos queda en desventaja frente a empresas que sí pueden demostrar calidad, cumplimiento y capacidad de mejora. Por ello, la innovación productiva debe entenderse como disciplina administrativa y no como acción aislada.

REFERENCIAS

Chesbrough, H. W. (2003). Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology. Harvard Business School Press.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, & Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2013). Perspectivas económicas de América Latina 2013: Políticas de PYMES para el cambio estructural. CEPAL/OCDE. https://doi.org/10.1787/leo-2013-es

Dini, M., Rovira, S., & Stumpo, G. (Coords.). (2014). Una promesa y un suspirar: Políticas de innovación para PYMES en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Freeman, C. (1987). Technology policy and economic performance: Lessons from Japan. Pinter Publishers.

Instituto Mexicano de Normalización y Certificación. (2015). NMX-CC-9001-IMNC-2015: Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos. IMNC.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (ENAPROCE) 2018. INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/enaproce/2018/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Censos Económicos 2024: Resultados definitivos (Comunicado de prensa núm. 79/25). INEGI.

International Organization for Standardization. (2024). The ISO survey of management system standard certifications 2023. ISO/CASCO. https://www.iso.org/the-iso-survey.html

Lundvall, B.-A. (Ed.). (1992). National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning. Pinter Publishers.

Nelson, R. R. (Ed.). (1993). National innovation systems: A comparative analysis. Oxford University Press.

Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2024). Global innovation index 2024: Unlocking the promise of social entrepreneurship. WIPO.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, & Eurostat. (2018). Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation (4.ª ed.). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264304604-en

Pekovic, S., & Galia, F. (2009). From quality to innovation: Evidence from two French employer surveys. Technovation, 29(12), 829-842. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2009.05.004

Reyes Chacón, D. A., Cadena López, A., & Rivera González, G. (2022). El sistema de gestión de calidad y su relación con la innovación. Inter Disciplina, 10(26), 217-240. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2021.25.80975

Secretaría de Economía. (2009, 30 de junio). Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas empresas. Diario Oficial de la Federación.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. British Journal of Management, 14(3), 207-222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Urbano-Aparicio, J., García-Santamaría, L. E., de la Mora-Ramírez, T., Vargas-González, J., & Cruz-García, V. (2021). Mejora de la productividad en una empresa manufacturera del norte del estado de Veracruz. Conciencia Tecnológica, (61). https://www.redalyc.org/journ

PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE BOVINOS DE MEDIA CEBA BAJO PASTOREO ROTACIONAL EN UN SISTEMA GANADERO DEL SUR DE VERACRUZ, MÉXICO

Eduwiges González Rodríguez[1]
Wendy García González[2]
José Armando Sánchez Salcedo[3]
Ronnie de Jesús Arieta Román[4]

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la productividad y rentabilidad de bovinos de media ceba manejados bajo un sistema de pastoreo rotacional en una unidad de producción ubicada en la comunidad de El Caobal, municipio de San Juan Evangelista, Veracruz. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con diseño de estudio de caso y trabajo de campo, la muestra estuvo conformada por 10 toretes con un peso inicial promedio de 220 kg, evaluados durante un periodo de 216 días.

Se analizaron variables productivas y económicas para determinar el desempeño del sistema bajo condiciones reales de producción, los resultados mostraron una ganancia diaria de peso de 560 g/animal/día y una ganancia total de 160 kg por animal. En el análisis económico, se obtuvieron ingresos de $199,500 MXN y costos de $145,050 MXN, con un beneficio neto de $54,450 MXN, una relación beneficio-costo de 1.38, un ROI de 37.5 % y un punto de equilibrio de 2,545 kg de carne. Estos indicadores evidencian eficiencia productiva y rentabilidad económica positiva para sistemas de pastoreo en regiones tropicales, confirmando la viabilidad del sistema en las condiciones agroecológicas del sur de Veracruz.

Palabras clave: bovinos de media ceba, pastoreo rotacional, productividad, rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

La producción de bovinos para carne es una de las actividades pecuarias más relevantes en México, debido a su contribución a la seguridad alimentaria, la generación de empleo y el desarrollo económico de las zonas rurales, en el contexto socioeconómico nacional, la ganadería bovina funciona como un

[1] Universidad Veracruzana. edgonzalez@uv.mx
[2] Universidad Veracruzana
[3] Universidad Veracruzana
[4] Universidad Veracruzana

eje estratégico que impulsa la producción de alimentos, el aprovechamiento de recursos naturales y la generación de divisas, con un impacto directo en la economía del sector rural. (SADER, 2024).

El estado de Veracruz destaca como una de las principales regiones ganaderas del país, favorecido por condiciones climáticas caracterizadas por altas precipitaciones y temperaturas que permiten la producción continua de forrajes, base fundamental de los sistemas de producción bovina, en las regiones tropicales del sur del estado, donde predominan climas cálidos subhúmedos y húmedos, el sistema de pastoreo representa la principal estrategia de alimentación debido a su menor costo y a la disponibilidad de recursos forrajeros durante gran parte del año. (SADER, 2024).

La etapa de media ceba constituye una fase crítica dentro del ciclo productivo bovino, en la cual los animales transitan hacia el engorde final y requieren un manejo zootécnico adecuado para optimizar su desempeño productivo, el éxito de los sistemas de producción depende de la interacción entre infraestructura, manejo sanitario y, de manera determinante, el conocimiento del comportamiento estacional de las especies forrajeras utilizadas. (FAO, 2023).

La eficiencia productiva en sistemas de pastoreo depende del equilibrio entre la carga animal y la disponibilidad de materia seca, ya que el desbalance en este sistema puede conducir al sobrepastoreo y a la degradación progresiva de las praderas, ante esta problemática, el pastoreo rotacional se presenta como una alternativa técnica que permite periodos adecuados de descanso del forraje, favoreciendo su recuperación, la resiembra natural y la conservación de la estructura del suelo. (Blanco Rodríguez et al., 2022).

La adopción de este tipo de tecnologías por parte de pequeños y medianos productores sigue siendo limitada, principalmente por la ausencia de información técnica y análisis económicos que demuestren su viabilidad financiera bajo condiciones reales de producción (Santa Ana y Sordi, 2021), a pesar de la importancia ganadera del municipio de San Juan Evangelista, existe una escasez de estudios que documenten de manera sistemática la productividad y rentabilidad de sistemas de media ceba bajo esquemas de pastoreo rotacional en la región.

La falta de información limita la capacidad de los productores para evaluar sus márgenes de ganancia frente al incremento sostenido en los costos de insumos, mano de obra y servicios veterinarios, lo que provoca que muchas decisiones productivas se tomen con base en la experiencia empírica más que en análisis económicos formales (Parra-Cortés y Magaña-Magaña, 2020), en este sentido, surge la necesidad de evaluar el desempeño productivo y económico de bovinos de media ceba bajo condiciones reales de producción en la localidad de El Caobal.

Este estudio tiene como finalidad identificar los factores técnicos, productivos y administrativos que influyen en la eficiencia del sistema, bajo la premisa de que el pastoreo rotacional incrementa la productividad y rentabilidad de bovinos de media ceba en El Caobal, Veracruz.

Sistemas de Producción Bovina en el Trópico bajo Pastoreo Rotacional

Los sistemas de producción bovina en regiones tropicales constituyen una de las principales formas de explotación pecuaria en México, basados en el aprovechamiento de forrajes provenientes de praderas naturales o inducidas, este modelo se caracteriza por su bajo costo operativo en comparación con sistemas intensivos en confinamiento, su eficiencia depende de la interacción entre factores climáticos, edáficos, vegetación forrajera y manejo zootécnico del hato. (Enríquez-Quiroz et al., 2021).

En el trópico húmedo y subhúmedo, la disponibilidad y calidad del forraje presentan variaciones estacionales significativas, lo que condiciona el desempeño productivo del ganado, por ello, la selección de especies forrajeras adaptadas a las condiciones locales es un elemento clave para la sostenibilidad del sistema (Pérez-Morales et al., 2022). Entre las gramíneas más utilizadas se encuentran el pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*), Insurgente (*Brachiaria brizantha*) y Mombaza o Privilegio (*Panicum maximum*), las cuales destacan por su adaptación a condiciones de alta humedad, su capacidad de rebrote y su sistema radicular profundo. (FAO, 2021).

El valor nutricional del forraje disminuye conforme avanza su madurez fisiológica, afectando su contenido de proteína cruda y, en consecuencia, la eficiencia de utilización en rumiantes. Se ha reportado que niveles inferiores al 7 % de proteína cruda pueden limitar el desempeño productivo al reducir la actividad microbiana ruminal y la digestibilidad del alimento (Garay-Martínez et al., 2024).

Pastoreo Rotacional

El pastoreo rotacional se ha consolidado como una estrategia técnica en sistemas tropicales, al permitir la alternancia de periodos de ocupación y descanso del forraje, a diferencia del pastoreo continuo, este sistema favorece la recuperación fisiológica de las plantas, la acumulación de reservas energéticas y el rebrote vigoroso, contribuye a la conservación del suelo al reducir la compactación, mejorar la infiltración de agua y favorecer la actividad biológica del ecosistema edáfico, interrumpe ciclos biológicos de parásitos internos y externos, lo que puede reducir la presión sanitaria sobre el hato. (FAO, 2021; Teague et al., 2020).

Para su correcta implementación, se recomienda que los periodos de ocupación no excedan los tres días por potrero, mientras que los tiempos de descanso varían entre 22 y 25 días en condiciones de lluvias, pudiendo extenderse hasta 40 días en periodos de estiaje. (FAO, 2021; Briske et al., 2022).

La eficiencia del sistema de pastoreo rotacional depende en gran medida de una adecuada planificación de la carga animal y del monitoreo constante del estado fenológico de las praderas, el

ajuste oportuno de la presión de pastoreo permite mantener la productividad del forraje a lo largo del tiempo, evitando su degradación y favoreciendo la persistencia de especies forrajeras de alto valor nutricional (Loera Sánchez et al., 2025). La implementación de este sistema requiere infraestructura básica como cercos eléctricos, división de potreros y acceso estratégico a fuentes de agua, lo cual influye directamente en la eficiencia operativa del sistema y en los resultados productivos del hato (Cruz-González et al., 2024).

Determinantes de la Productividad en Sistemas de Pastoreo

La productividad de los sistemas bovinos en el trópico no depende únicamente de la disponibilidad de forraje, sino de un conjunto de factores interrelacionados, entre los más relevantes se encuentra la carga animal, expresada en unidades animales por hectárea (UA/ha), la cual debe mantener un equilibrio con la oferta de materia seca para evitar el sobrepastoreo y la degradación del recurso forrajero, en sistemas bien manejados de praderas perennes en ambientes húmedos, una carga aproximada de 1.0 UA/ha suele considerarse adecuada. (Enríquez Quiroz et al., 2021).

El recurso hídrico representa otro factor crítico, ya que el consumo de agua en bovinos puede oscilar entre el 6% y el 12% del peso vivo diariamente, dependiendo del estrés térmico y la composición de la dieta, una deficiencia de agua puede comprometer severamente el metabolismo y la productividad, siendo incluso letal cuando se pierde una proporción significativa del balance hídrico corporal. (Agua Siempre, 2022).

La suplementación mineral en bovinos es esencial debido a las deficiencias frecuentes de elementos traza en suelos y forrajes de regiones tropicales, minerales como el fósforo, zinc, cobre y selenio cumplen funciones en procesos metabólicos, inmunitarios y de crecimiento, por lo que su deficiencia puede afectar el desempeño productivo y reproductivo del ganado. (Arthington y Ranches, 2021; Palomares et al., 2022). La literatura indica que la suplementación mineral es una práctica ampliamente recomendada en sistemas de pastoreo, debido a la variabilidad en la concentración mineral de los forrajes.

Ganancia Diaria de Peso

La ganancia diaria de peso es un indicador de eficiencia productiva en sistemas de engorda bovina, ya que refleja la velocidad de crecimiento del animal y permite evaluar la eficiencia con la que los nutrientes consumidos se transforman en tejido corporal, este parámetro es ampliamente utilizado en estudios de desempeño productivo y eficiencia alimenticia en ganado de carne (Old et al., 2024; Larson et al., 2021).

La ganancia diaria de peso está influenciada por múltiples factores interrelacionados, entre los que destacan la calidad y disponibilidad del forraje, el nivel de suplementación nutricional, la genética del

animal y el manejo sanitario aplicado durante el ciclo productivo, variables ambientales como la temperatura y el estrés térmico pueden modificar significativamente el consumo voluntario de alimento y, en consecuencia, el desempeño del ganado. (Macías-Cruz et al., 2022).

En sistemas de pastoreo en el trópico, la ganancia diaria de peso se utiliza como una herramienta para evaluar la eficiencia del manejo del sistema, permitiendo comparar el desempeño entre diferentes esquemas de producción. Valores adecuados de ganancia diaria de peso en bovinos en etapa de media ceba bajo condiciones de pastoreo oscilan comúnmente entre 500 y 800 g/día, dependiendo del nivel tecnológico del sistema y la calidad de las praderas. (Cooke et al., 2020).

Indicadores de Rentabilidad

La evaluación económica de los sistemas pecuarios requiere la aplicación de indicadores financieros que permitan medir de forma objetiva la eficiencia de la inversión y la viabilidad del sistema productivo, estos indicadores facilitan la toma de decisiones al traducir el desempeño técnico-productivo en resultados económicos cuantificables, lo que permite analizar la sostenibilidad del sistema bajo condiciones reales de producción. (Cuevas-Reyes et al., 2021; Kido-Cruz et al., 2023).

La relación beneficio-costo es un indicador que permite comparar los ingresos totales generados por el sistema con respecto a los costos totales de producción. Su interpretación es primordial, ya que indica la cantidad de ingreso obtenido por cada unidad monetaria invertida, un valor mayor a 1 sugiere que el sistema es económicamente viable, mientras que valores inferiores a 1 indican pérdidas económicas. (Gittinger, 2022; FAO y World Bank, 2021).

El retorno sobre la inversión (ROI) mide la rentabilidad porcentual obtenida en relación con el capital invertido, este indicador permite evaluar la eficiencia del uso de los recursos financieros dentro del sistema productivo, facilitando la comparación entre diferentes alternativas de inversión, un ROI positivo refleja generación de utilidades, mientras que valores más altos indican mayor eficiencia económica del sistema. (Puebla et al., 2022).

El punto de equilibrio representa el nivel mínimo de producción o ventas necesario para cubrir la totalidad de los costos fijos y variables del sistema, sin generar pérdidas ni ganancias, este indicador determina el riesgo financiero del sistema, ya que permite identificar el volumen crítico de producción a partir del cual la actividad comienza a ser rentable, en conjunto, estos indicadores permiten integrar el análisis técnico y económico de los sistemas pecuarios, proporcionando una base sólida para la evaluación de su rentabilidad y sostenibilidad en el tiempo. (Paturlanne et al., 2024).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el comportamiento productivo y la rentabilidad de bovinos de media ceba en un sistema de pastoreo rotacional en la unidad de producción ubicada en la comunidad de El Caobal, municipio de San Juan Evangelista, Veracruz.

Objetivos Específicos

Identificar los factores técnicos, productivos y administrativos que influyen en la productividad económica de bovinos de media ceba bajo condiciones de pastoreo.

Evaluar la rentabilidad económica de la engorda de bovinos de media ceba en el sistema de pastoreo rotacional en la unidad de producción de El Caobal.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo mediante un estudio de caso con trabajo de campo, realizado en una unidad de producción ubicada en la comunidad de El Caobal, municipio de San Juan Evangelista, Veracruz, el área de estudio se caracteriza por un clima cálido húmedo, con temperaturas medias anuales entre 26 y 36 °C y un régimen de lluvias concentrado en la temporada de verano, condiciones que favorecen el desarrollo de especies forrajeras durante gran parte del año. El abastecimiento de agua para el ganado proviene de una represa, la cual distribuye el recurso hídrico hacia los bebederos mediante un sistema de gravedad, la unidad de producción cuenta con una superficie de 10 hectáreas subdivididas en 15 potreros mediante cercos eléctricos, lo que permite la implementación de un sistema de pastoreo rotacional, los suelos presentan textura franco arenosa (aproximadamente 80% arena, 15% arcilla y 5% limo), lo que favorece la infiltración de agua y el desarrollo radicular de especies forrajeras.

La muestra estuvo integrada por 10 toretes de media ceba con un peso inicial promedio de 220 kg.

Los animales fueron manejados bajo un sistema de pastoreo rotacional en la misma superficie de 10 hectáreas, dividida en 15 potreros, con un esquema de ocupación de tres días y periodos de descanso de 15 a 30 días, dependiendo de la disponibilidad de forraje.

El manejo sanitario incluyó la identificación mediante aretado, desparasitación interna y externa, aplicación de vitaminas A, D y E, así como monitoreo sanitario permanente durante el ciclo productivo. La alimentación se basó en pastoreo directo, complementado con suplementación mineral a razón de 150 g por animal por día.

Variables evaluadas:

- Variables productivas. Se consideraron aquellas relacionadas con el desempeño zootécnico de los bovinos durante el periodo de engorda, estas incluyeron el peso inicial y el peso final de los animales, a partir de los cuales se determinó la ganancia total de peso y la ganancia diaria de peso. Se analizó la conversión alimenticia como indicador de eficiencia en el aprovechamiento del forraje dentro del sistema de pastoreo rotacional.
- Variables económicas. Se evaluaron los principales componentes financieros del sistema productivo, considerando en primer lugar los costos operativos y los costos totales asociados al ciclo de engorda. De igual forma, se analizaron los ingresos obtenidos por la venta de los animales. Con base en estos elementos, se calculó el beneficio neto, la relación beneficio-costo, el retorno sobre la inversión y el punto de equilibrio, con el objetivo de determinar la viabilidad económica del sistema bajo las condiciones de producción evaluadas.

RESULTADOS

Resultados productivos

En el ámbito productivo, se evaluó el desempeño biológico de los bovinos a través de variables relacionadas con el crecimiento, la eficiencia alimenticia y la carga animal, estos indicadores permiten determinar el comportamiento general del sistema bajo condiciones reales de producción en pastoreo, los resultados evidencian un crecimiento sostenido de los animales durante el ciclo, alcanzando valores competitivos respecto a sistemas extensivos de la región.

Tabla 1. Indicadores productivos del sistema

Indicador	Valor
Número de animales	10
Peso inicial promedio	220 kg
Peso final promedio	380 kg
Ganancia total por animal	160 kg
Ganancia diaria de peso	560 g/día
Ganancia mensual aproximada	20 kg
Conversión alimenticia	16.2 kg forraje/kg ganado
Carga animal	1.0 UA/ha

Los valores obtenidos reflejan una ganancia diaria de peso adecuada para sistemas de pastoreo en el trópico, lo que indica una correcta relación entre disponibilidad de forraje y manejo del hato. La conversión alimenticia observada muestra que, aunque el sistema depende exclusivamente de pastoreo, se mantiene dentro de rangos aceptables para sistemas extensivos mejorados.

Resultados técnicos

En la dimensión técnica, se analizaron las condiciones de manejo del sistema productivo, incluyendo la organización del pastoreo, disponibilidad de forraje, suministro de agua y prácticas sanitarias, estos elementos son determinantes para la estabilidad del sistema y su eficiencia productiva. El sistema operó bajo un esquema de pastoreo rotacional con divisiones definidas que permitieron la recuperación del forraje y el aprovechamiento eficiente de la pradera.

Tabla 2. Condiciones técnicas del sistema de producción

Variable técnica	Descripción / Valor
Superficie total	10 hectáreas
Número de potreros	15
Sistema de pastoreo	Rotacional
Tiempo de ocupación	3 días/potrero
Periodo de descanso	15–30 días
Disponibilidad de forraje	2,500 kg MS/ha
Consumo de forraje	12 kg/animal/día
Consumo de agua	40 L/animal/día
Suplementación mineral	150 g/animal/día
Manejo sanitario	desparasitación, vitaminas ADE

El manejo rotacional permitió mantener la estabilidad del recurso forrajero, evitando la degradación del pastizal y favoreciendo la recuperación de las especies establecidas, de igual forma, el esquema sanitario y nutricional complementario contribuyó a sostener el desempeño productivo de los animales durante el periodo evaluado.

Resultados económicos

En la dimensión económica se analizaron los costos, ingresos y la rentabilidad del sistema, con el objetivo de determinar su viabilidad financiera bajo condiciones reales de producción, los resultados muestran que, a pesar de los costos asociados a la compra de animales y la operación del sistema, la actividad generó un margen positivo de utilidad.

Tabla 3. Indicadores económicos y financieros

Concepto	Valor (MXN)
Inversión en ganado	$90,000
Costos operativos	$55,050
Costos totales	$145,050
Ingresos por venta	$199,500
Beneficio neto	$54,450
Relación beneficio-costo (B/C)	1.38
Retorno sobre la inversión (ROI)	37.5 %
Punto de equilibrio	2,545 kg

El análisis financiero indica que el sistema es rentable, ya que la relación beneficio-costo mayor a 1 confirma que los ingresos superan los costos totales, el ROI obtenido refleja un rendimiento atrayente para sistemas de engorda en condiciones de pastoreo tropical.

Productividad por superficie

El análisis de la productividad por unidad de superficie permite dimensionar la eficiencia del sistema en términos territoriales, integrando tanto la producción física de carne como el desempeño económico por hectárea, este enfoque facilita la comparación con otros sistemas ganaderos bajo condiciones similares.

Tabla 4. Productividad y rentabilidad por hectárea

Indicador	Valor
Producción total de peso vivo	1,600 kg/ciclo
Producción por hectárea	160 kg/ha
Utilidad neta total	$54,450 MXN
Utilidad neta por hectárea	$5,445 MXN/ha

Los resultados muestran que el sistema genera una producción de 160 kg de peso vivo por hectárea durante el ciclo evaluado, lo cual refleja una eficiencia productiva adecuada para sistemas de pastoreo rotacional en condiciones tropicales, en términos económicos, la utilidad neta de $5,445 MXN por hectárea evidencia que el sistema no solo es productivo, sino también rentable a nivel espacial, lo que refuerza su viabilidad como alternativa de producción bovina en la región de El Caobal.

Desempeño productivo y económico

e agrupan los indicadores productivos y económicos que permiten evaluar de manera global el desempeño del sistema de engorda bajo pastoreo rotacional en El Caobal, esta integración facilita la interpretación conjunta de la eficiencia biológica y la viabilidad financiera del sistema.

Tabla 5. Integración de indicadores productivos y económicos del sistema

Indicador	Valor
Ganancia diaria de peso	560 g/día
Ganancia total por animal	160 kg
Producción total del sistema	1,600 kg
Ingresos totales	$199,500 MXN
Costos totales	$145,050 MXN
Beneficio neto	$54,450 MXN
Relación beneficio-costo (B/C)	1.38
Retorno sobre la inversión (ROI)	37.5 %
Punto de equilibrio	2,545 kg

Los resultados productivos y económicos evidencian que el sistema de pastoreo rotacional evaluado permitió un desempeño eficiente bajo las condiciones agroecológicas de El Caobal, los animales iniciaron con un peso promedio de 220 kg y alcanzaron 380 kg en un ciclo de 216 días, lo que representó una ganancia total de 160 kg por animal y una ganancia diaria de peso de 560 g/animal/día. Desde el punto de vista económico, el sistema generó ingresos totales de $199,500 MXN frente a costos totales de $145,050 MXN, obteniéndose un beneficio neto de $54,450 MXN.

Estos resultados se complementan con una relación beneficio-costo de 1.38, un retorno sobre la inversión (ROI) de 37.5 % y un punto de equilibrio estimado en 2,545 kg de carne comercializada,

equivalente aproximadamente a siete bovinos. En términos de productividad por superficie, se alcanzó una producción de 160 kg de peso vivo por hectárea durante el ciclo evaluado, con una utilidad neta de $5,445 MXN/ha. Estos indicadores confirman que el sistema no solo es productivamente eficiente, sino también económicamente viable dentro del periodo de engorda analizado.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar el comportamiento productivo y la rentabilidad de bovinos de media ceba bajo un sistema de pastoreo rotacional en la unidad de producción de El Caobal, San Juan Evangelista, Veracruz, cumpliendo con el objetivo general planteado.

En relación con los objetivos específicos, se identificaron los principales factores técnicos, productivos y administrativos que influyen en el desempeño del sistema, destacando la importancia de la carga animal (1.0 UA/ha), la adecuada disponibilidad de forraje (2,500 kg MS/ha), el manejo sanitario preventivo y la suplementación mineral como elementos clave para mantener la estabilidad productiva del hato.

El sistema mostró un desempeño adecuado en condiciones de pastoreo tropical, alcanzando una ganancia diaria de peso de 560 g/animal/día y una ganancia total de 160 kg por animal durante el ciclo de 216 días, valores que se encuentran dentro de rangos aceptables para sistemas extensivos mejorados en la región.

Los resultados evidencian que el sistema es financieramente viable, al registrar un beneficio neto de $54,450 MXN, una relación beneficio-costo de 1.38 y un retorno sobre la inversión (ROI) de 37.5 %, lo que indica generación de utilidades a partir del capital invertido, el punto de equilibrio estimado en 2,545 kg de carne aproximadamente 7 bovinos, confirma que el sistema alcanza su estabilidad económica dentro del ciclo evaluado.

En función de estos resultados, se acepta la hipótesis planteada, ya que el sistema de pastoreo rotacional incrementa la productividad y rentabilidad de bovinos de media ceba en la unidad de producción de El Caobal, Veracruz, bajo las condiciones agroecológicas analizadas, el sistema representa una alternativa productiva y económicamente viable para la ganadería bovina en regiones tropicales, siempre que se mantenga un manejo técnico adecuado de la pradera, el hato y los recursos disponibles.

REFERENCIAS

Agua Siempre. (2022). *Importancia de la calidad del agua para una buena producción ganadera*. https://aguasiempre.com.ar/importancia-de-la-calidad-del-agua-para-una-buena-produccion-ganadera/

Arthington, J. D., & Ranches, J. (2021). *Trace mineral nutrition of grazing beef cattle*. Animals, 11(10), 2767. https://doi.org/10.3390/ani11102767

Blanco Rodríguez, J. C., Bahamón Cabrera, C. E., & Montilla Rodríguez, M. A. (2022). *Degradación de pasturas y carga animal, una analogía del analfabetismo ganadero*. Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de la Amazonia, 14(1). http://portal.amelica.org/ameli/journal/513/5132773011/

Briske, D. D., Sayre, N. F., Huntsinger, L., Fernández-Giménez, M. E., Budd, B., & Derner, J. D. (2022). *Strategic management of grazing lands: Principles and applications*. Rangeland Ecology & Management, 82(1), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.rama.2022.01.001

Cooke, R. F., Daigle, C. L., Moriel, P., Smith, S. B., & Tedeschi, L. O. (2020). Cattle adapted to tropical and subtropical environments: nutritional and performance considerations. *Journal of Animal Science, 98*(2), skaa014. https://doi.org/10.1093/jas/skaa014

Cruz-González, G., Romero-Salas, D., Alonso-Díaz, M., Fernández-Salas, A., Vicente-Martínez, J., & Pinos-Rodríguez, J. (2024). *El pastoreo rotacional: una alternativa sostenible en el control de la garrapata del bovino*. **Abanico Veterinario, 14**(e2024-47). https://doi.org/10.21929/abavet2026.6

Cuevas-Reyes, V., Reyes Jiménez, J. E., Borja Bravo, M., & Rosales Nieto, C. (2021). *Evaluación financiera y económica de un sistema silvopastoril intensivo bajo riego*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(62), 1–20. https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.759

Enríquez Quiroz, J. F., Esqueda Esquivel, V. A., & Martínez Méndez, D. (2021). *Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12(Supl. 3), 243–260. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876

Enríquez-Quiroz, J. F., Esqueda Esquivel, V. A., & Martínez Méndez, D. (2021). *Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 12(Supl. 3), 243–260. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876

FAO. (2021). *Sustainable grassland and rangeland management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) & World Bank. (2021). *Handbook on agricultural project economic analysis*. FAO. https://www.fao.org

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Sustainable livestock production and grassland management in tropical systems*. FAO. https://www.fao.org

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Sustainable grassland and livestock management in the tropics*. FAO. https://www.fao.org

Garay-Martínez, J. R., Estrada-Drouaillet, B., Bernal-Flores, Á., & Joaquín-Cancino, S. (2024). *Valor nutritivo de ensilados de soya y pasto buffel en diferentes proporciones*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(2), 1–12. https://doi.org/10.29312/remexca.v15i2.3648

Gittinger, J. P. (2022). *Economic analysis of agricultural projects* (3rd ed.). Routledge.

Kido-Cruz, A., Martínez Castro, C. J., Valenzuela Jiménez, N., & Kido-Cruz, M. T. (2023). *Evaluación de los principios bioeconómicos de sustentabilidad en sistemas de producción bovina*. Revista de Geografía Agrícola, 72, 1–19. https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.72.1

Larson, H. E., Owens, F. N., & DiCostanzo, A. (2021). Equivalent effects of growing phase ADG and DOF at various placement weights on finishing beef cattle performance. *Journal of Animal Science*. https://doi.org/10.1093/jas/skab235

Loera Sánchez, J. M., López Serrano, P. M., Gutiérrez Luna, R., Carrete Carreón, F. O., & Quero Carrillo, A. R. (2025). *Respuesta del pastizal al pastoreo continuo y rotacional en el norte de México*. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 16**(3), 698–713. https://doi.org/10.22319/rmcp.v16i3.6827

Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., López-Baca, M. A., Avendaño-Reyes, L., & García-Cueto, Y. (2022). Heat stress and productive performance in beef and dairy cattle under tropical conditions: A review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 13*(2), 485–506. https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832

Old, C. A., Lean, I. J., Rossow, H. A., & Shike, D. W. (2024). Modeling differences in feed intake and efficiency: Growing and finishing beef cattle. *Applied Animal Science, 40*(1), 40–55. https://doi.org/10.15232/aas.2023-02443

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023). *Prácticas y tecnologías para una ganadería baja en emisiones: estudio de caso en América Latina*. FAO. https://www.fao.org

Palomares, R. A., Lancaster, P., & Larson, R. (2022). *Trace mineral supplementation with great impact on beef cattle immunity and health*. Animals, 12(20), 2839. https://doi.org/10.3390/ani12202839

Parra-Cortés, R. I., & Magaña-Magaña, M. A. (2020). *Características técnico-económicas de los sistemas de producción bovina basados en razas criollas introducidas en México*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 6(18), 535–547. https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2160

Paturlanne, J. L., González, R. L., Pérez, S. A., & Ferro Moreno, S. (2024). Costeo y toma de decisiones en el agro: una propuesta aplicada. *Costos y Gestión*, (109). https://doi.org/10.56563/costosygestion.109.e1

Pérez-Morales, S., Crosby-Galván, M. M., Ramírez-Mella, M., Bárcena Gama, J. R., Hernández-Mendo, O., & Crosby-Galván, E. M. (2022). *Alimentación de bovinos en praderas de chote (Parmentiera aculeata) en el trópico húmedo de México*. Agro Productividad, 15(5), 1–9. https://agrodivulgacion-colpos.org/index.php/1agrodivulgacion1/article/view/107

Puebla, C., Rebollar, S., & González, F. J. (2022). *Rentabilidad de una engorda de bovinos en corral utilizando el año cero y el año uno como inversión inicial*. Revista Mexicana de Agronegocios, 51, 1–15.

Santa Ana, R. S., & Sordi, V. F. (2021). *Pecuária de precisão: as principais barreiras para a adoção tecnológica no contexto da pecuária 4.0*. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), 5(1). https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/13852

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, 18 de septiembre). *Ganadería bovina en México: Un orgullo nacional*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/ganaderia-bovina-en-mexico-un-orgullo-nacional

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, septiembre 18). *Ganadería bovina en México: un orgullo nacional*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/agricultura/articulos/ganaderia-bovina-en-mexico-un-orgullo-nacional

Teague, W. R., Apfelbaum, S., Lal, R., Kreuter, U. P., Rowntree, J., Davies, C. A., Conser, R., Hatfield, J., Wang, T., Wang, F., & Byck, P. (2020). The role of ruminants in reducing agriculture's carbon footprint in North America. *Journal of Soil and Water Conservation, 75*(5), 116A–124A. https://doi.org/10.2489/jswc.2020.0620A

DIAGNÓSTICO SOCIO-PRODUCTIVO DEL MANEJO DE BECERROS EN SISTEMAS BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO DEL TRÓPICO HÚMEDO DE VERACRUZ

Octavio Guillén Pérez[1]
Ronnie de Jesús Arieta Román[2]
José Armando Sánchez Salcedo[3]

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina de doble propósito constituye una de las actividades agropecuarias más relevantes en las regiones tropicales de México, particularmente en el estado de Veracruz, donde representa una fuente importante de ingresos, empleo y seguridad alimentaria para las familias rurales (FAO, 2023; SIAP, 2024). Estos sistemas productivos se caracterizan por la obtención simultánea de leche y carne, lo que permite diversificar los ingresos y reducir riesgos asociados a las fluctuaciones del mercado (FAO, 2023; Thornton et al., 2022). Sin embargo, su desempeño está condicionado por factores sanitarios, nutricionales, ambientales y de manejo que influyen directamente en la productividad y sostenibilidad de las unidades de producción (FAO, 2023; SIAP, 2024).

Dentro del ciclo productivo, la etapa de crianza de los becerros es considerada una de las fases más críticas, ya que durante los primeros meses de vida se define gran parte del potencial productivo futuro del animal (Leal-Yepes et al., 2024; Ouellet et al., 2024). Problemas como la mortalidad neonatal, las enfermedades infecciosas, las deficiencias nutricionales y los bajos pesos al destete generan pérdidas económicas significativas y reducen la eficiencia de los sistemas ganaderos (Ouellet et al., 2024; Becker et al., 2020). Además, estas limitantes suelen agravarse cuando existen deficiencias en el manejo sanitario, la alimentación o la supervisión de las crías (Leal-Yepes et al., 2024).

A estas problemáticas se suma el impacto del estrés térmico, considerado uno de los principales desafíos para la ganadería tropical (Herbut et al., 2021; Sejian et al., 2021). Las altas temperaturas y la elevada humedad relativa características del sur de Veracruz afectan la capacidad de termorregulación de los animales (Herbut et al., 2021; Sejian et al., 2021), provocando disminución en el consumo de alimento, alteraciones fisiológicas, reducción en la ganancia de peso y una mayor susceptibilidad a enfermedades (Becker et al., 2020; Gaughan et al., 2024). Estas condiciones

[1] Universidad Veracruzana. oguillen@uv.mx
[2] Universidad Veracruzana. roarieta@uv.mx
[3] Universidad Veracruzana. Josesanchez07@uv.mx

representan una amenaza constante para el bienestar animal y la rentabilidad de las unidades de producción (Thornton et al., 2022; FAO, 2023).

Por otra parte, las decisiones relacionadas con el manejo del ganado están influenciadas por factores sociales y económicos propios de cada comunidad (FAO, 2023). En muchos casos, las prácticas productivas se basan en conocimientos adquiridos por experiencia y transmitidos entre generaciones (FAO, 2023). Aunque este conocimiento empírico ha permitido mantener la actividad ganadera a lo largo del tiempo, las condiciones actuales demandan estrategias que permitan fortalecer la capacidad adaptativa de los productores frente a desafíos cada vez más complejos, como el cambio climático, el incremento de costos de producción y las exigencias de los mercados (Thornton et al., 2022; FAO, 2023).

Ante este contexto, se realizó un diagnóstico socio-productivo en unidades ganaderas de doble propósito localizadas en las comunidades de Villa Alta, Reforma Agraria, Lázaro Cárdenas y Nuevo Morelos, en el sur del estado de Veracruz. El estudio tuvo como finalidad identificar las principales problemáticas que afectan la crianza de los becerros, analizar las prácticas de manejo implementadas por los productores y reconocer oportunidades de mejora dentro del sistema productivo.

La información obtenida constituye una base para el diseño de futuras estrategias de intervención orientadas al fortalecimiento de la productividad, la reducción de pérdidas durante la etapa de crianza, la mejora del bienestar animal y el incremento de la sostenibilidad de los sistemas ganaderos de la región.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar las condiciones socio-productivas y las prácticas de manejo de becerros en unidades ganaderas de doble propósito del sur de Veracruz, con el fin de identificar problemáticas y oportunidades de mejora que contribuyan al fortalecimiento de la productividad y sostenibilidad del sistema.

Objetivos específicos

- Caracterizar el perfil socio-productivo de los productores y sus unidades de producción.
- Evaluar las prácticas de alimentación, sanidad, mortalidad neonatal y manejo de becerros.
- Identificar las principales problemáticas productivas y ambientales percibidas por los productores.
- Generar propuestas de intervención orientadas a mejorar la productividad y capacidad adaptativa de los sistemas ganaderos.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en las comunidades de Villa Alta, Reforma Agraria y Lázaro Cárdenas, pertenecientes al municipio de San Juan Evangelista, así como en la localidad de Nuevo Morelos, municipio de Jesús Carranza, en el sur del estado de Veracruz. Estas comunidades forman parte de una región con una importante vocación pecuaria, donde la ganadería bovina de doble propósito constituye una de las principales actividades económicas de las familias rurales (SIAP, 2024; FAO, 2023).

La zona se localiza dentro del trópico húmedo mexicano y presenta temperaturas elevadas durante gran parte del año, humedad relativa alta y una marcada estacionalidad de las lluvias (Herbut et al., 2021). Estas condiciones favorecen el crecimiento de pastizales y permiten el desarrollo de sistemas de producción extensivos basados principalmente en el aprovechamiento de recursos forrajeros naturales (Thornton et al., 2022).

La producción de leche y la venta de becerros al destete representan las principales fuentes de ingreso derivadas de la actividad ganadera (SIAP, 2024). No obstante, la mayoría de las unidades productivas opera con niveles limitados de tecnificación y depende en gran medida de la experiencia de los productores para la toma de decisiones relacionadas con alimentación, sanidad y manejo animal (FAO, 2023).

Las características climáticas de la región también favorecen la aparición de estrés térmico, condición que afecta el bienestar y desempeño productivo del ganado (Herbut et al., 2021; Sejian et al., 2021). Diversos estudios han demostrado que la combinación de altas temperaturas y humedad ambiental puede reducir el consumo de alimento, limitar el crecimiento y aumentar la susceptibilidad a enfermedades, especialmente en animales jóvenes (Becker et al., 2020; Gaughan et al., 2024).

Por sus características productivas, ambientales y socioeconómicas, la región representa un escenario adecuado para analizar las problemáticas presentes en los sistemas bovinos tropicales y generar propuestas de mejora adaptadas a las condiciones reales de los productores locales (Thornton et al., 2022; FAO, 2023).

METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló como un diagnóstico situacional descriptivo de corte transversal en unidades ganaderas del sur de Veracruz (Hernández Sampieri et al., 2014). La información se obtuvo mediante encuestas presenciales aplicadas a 10 productores seleccionados de forma intencional en las comunidades de Villa Alta, Reforma Agraria, Lázaro Cárdenas y Nuevo Morelos (Hernández Sampieri et al., 2014).

El cuestionario incluyó aspectos relacionados con el perfil del productor, manejo del sistema productivo, problemáticas sanitarias y productivas, así como la aceptación de nuevas tecnologías (FAO, 2011). Los datos fueron organizados mediante tablas de frecuencia y porcentajes (Hernández Sampieri et al., 2014). La información obtenida se contrastó con observaciones realizadas en campo y con literatura científica relacionada con la temática estudiada (Ortegón et al., 2005).

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La investigación se realizó con una muestra de 10 productores seleccionados de forma intencional, por lo que los resultados representan únicamente a las unidades evaluadas y no pueden generalizarse a toda la región (Hernández Sampieri et al., 2014).

Parte de la información provino de la experiencia y percepción de los productores, lo que puede generar variaciones en las respuestas obtenidas (FAO, 2014). El estudio tuvo un alcance descriptivo y no incluyó mediciones experimentales ni evaluaciones fisiológicas directas (Ortegón et al., 2005). La información corresponde a un periodo específico de evaluación, por lo que las condiciones productivas y ambientales pueden variar en otros momentos del año (García et al., 2016).

Los resultados obtenidos permiten identificar problemáticas prioritarias y aportan información útil para el diseño de estrategias de mejora en los sistemas ganaderos evaluados.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Características de los productores

Los productores evaluados presentan una amplia experiencia en la actividad ganadera y predominan los grupos de edad de 41 a 50 años y de 61 a 70 años, ambos con una participación del 30 %, seguidos por los rangos de 30 a 40 años y de 51 a 60 años, con 20 % cada uno. El nivel educativo es heterogéneo, con predominio de escolaridad básica. Estas características pueden influir en la adopción tecnológica y en la toma de decisiones dentro de las unidades de producción (FAO, 2023; Thornton et al., 2022).

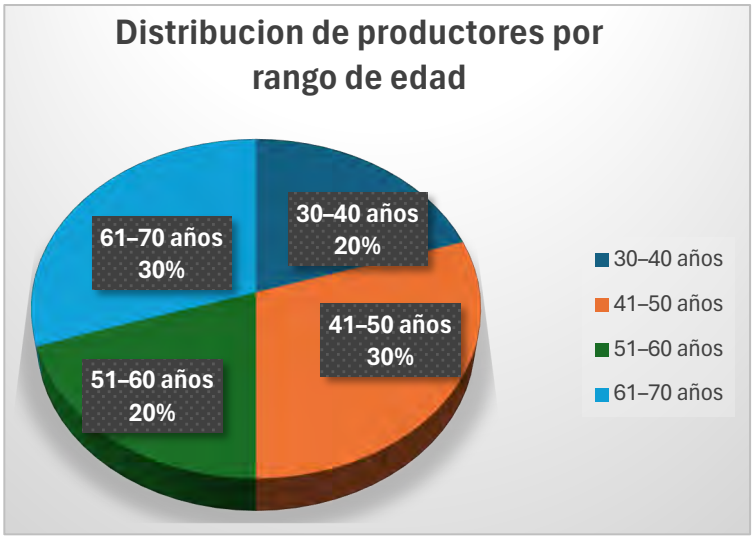


Figura 1. Distribución de los productores según rango de edad

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

Estructura productiva

La mayoría de las unidades de producción corresponde a sistemas de doble propósito (50 %), seguidos por sistemas de cría extensiva (30 %) y engorda intensiva (20 %). Esta distribución refleja el predominio de una ganadería orientada a la producción simultánea de leche y carne, con niveles variables de tecnificación y una importante dependencia de los recursos naturales disponibles en la región. Estas características son comunes en los sistemas bovinos tropicales, donde el aprovechamiento de los recursos forrajeros constituye la base de la producción animal (FAO, 2023; SIAP, 2024; Thornton et al., 2022).

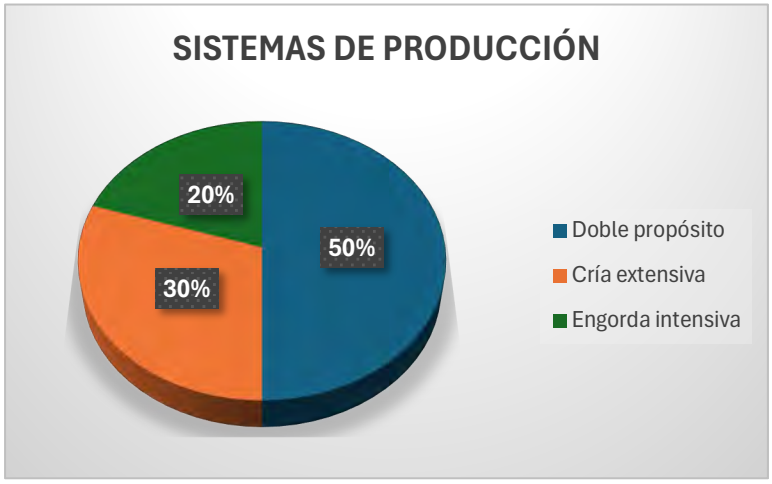


Figura 2. Distribución de los sistemas de producción ganadera en las unidades evaluadas.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

Manejo y nutrición de becerros

El destete se realiza principalmente entre los 7.0 y 7.5 meses de edad (50 %), seguido por el rango de 8.0 a 8.5 meses (30 %) y 5.5 a 6.0 meses (20 %). La alimentación se basa en leche materna y pastoreo, aunque una proporción importante de productores utiliza suplementos nutricionales. A pesar de ello, los pesos al destete se concentran entre 135 y 170 kg, lo que evidencia oportunidades de mejora en el manejo alimenticio. Diversos estudios señalan que la nutrición durante las primeras etapas de vida influye directamente sobre el crecimiento, la salud y el desempeño productivo posterior de los becerros (Ouellet et al., 2024; Leal-Yepes et al., 2024).

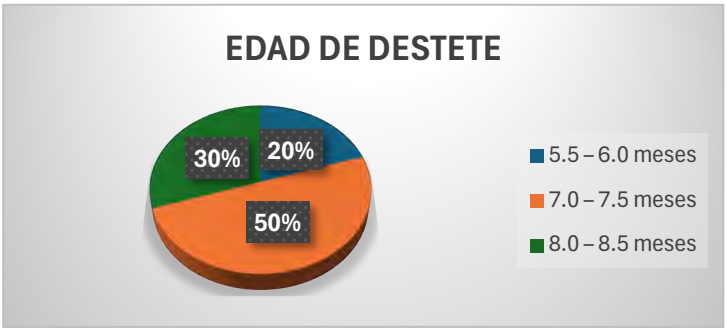


Figura 3. Distribución de la edad de destete en las unidades ganaderas evaluadas.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

Sanidad y desempeño productivo

El 70 % de los productores utiliza promotores de crecimiento, principalmente vitaminas y minerales. Sin embargo, persisten problemas sanitarios como diarreas, enfermedades respiratorias, parasitosis e infecciones umbilicales. La presencia de mortalidad de becerros fue reportada por el 60 % de los productores, identificándose como una de las principales limitantes del sistema. La ocurrencia de enfermedades durante las primeras etapas de vida se asocia con pérdidas productivas, menor crecimiento y reducción de la eficiencia del sistema ganadero (Becker et al., 2020; Ouellet et al., 2024; FAO, 2023).

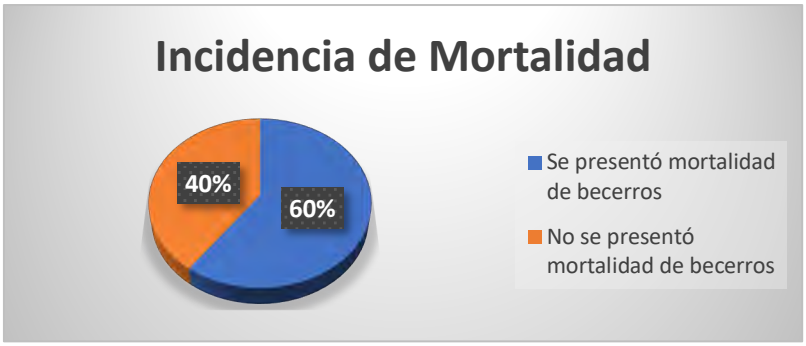


Figura 4. Incidencia de mortalidad de becerros en las unidades de producción

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

Estrés térmico y estrategias de mitigación

El 70 % de los productores considera que el calor afecta la productividad animal. La principal medida de mitigación es el uso de sombra natural, mientras que la adopción de infraestructura especializada y otras estrategias de confort térmico es limitada. El estrés térmico es reconocido como uno de los principales factores que afectan el desempeño productivo de los bovinos en regiones tropicales, debido a su impacto sobre el consumo de alimento, el crecimiento, la salud y el bienestar animal (Becker et al., 2020; Sejian et al., 2021; Gaughan et al., 2024).

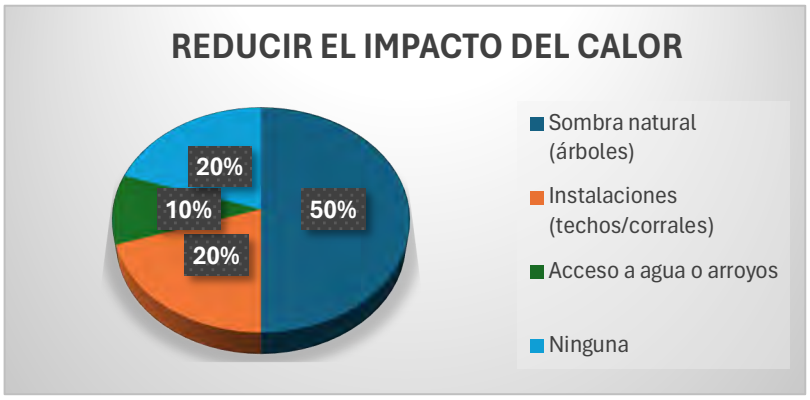


Figura 5. Estrategias utilizadas por los productores para reducir el impacto del calor en el ganado.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

Innovación y adopción tecnológica

La percepción sobre los promotores de crecimiento es mayoritariamente positiva. Además, el 60 % de los productores manifestó disposición para adoptar nuevas tecnologías y prácticas de manejo, el 10 % señaló que posiblemente las adoptaría y el 30 % indicó no estar dispuesto a implementarlas, lo que representa una oportunidad para impulsar procesos de innovación y transferencia tecnológica en la región. La adopción de innovaciones en los sistemas ganaderos depende no solo de los beneficios técnicos esperados, sino también de factores económicos, sociales y del acceso a capacitación y asistencia técnica (FAO, 2023; Thornton et al., 2022).

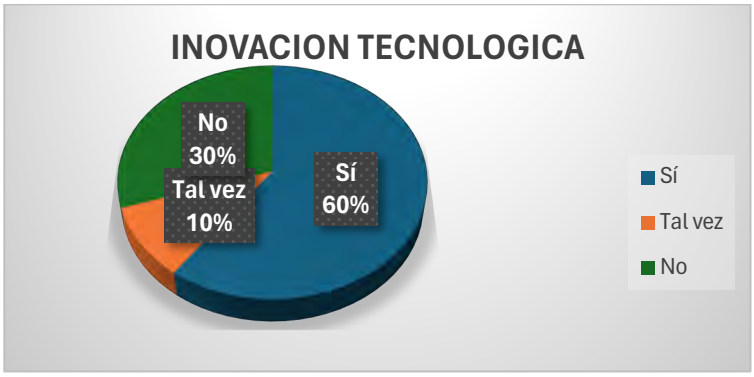


Figura 6. Disposición de los productores para adoptar nuevas tecnologías y prácticas de manejo.

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas aplicadas a productores ganaderos del sur de Veracruz (2026).

SÍNTESIS Y JERARQUIZACIÓN DE PROBLEMAS

El diagnóstico evidenció que las limitaciones productivas son de carácter multifactorial, ya que factores sanitarios, nutricionales, ambientales y administrativos interactúan y afectan el desempeño de las unidades ganaderas (Thornton et al., 2022; FAO, 2023).

Problema central

El principal problema identificado fue el bajo desempeño durante la etapa de crianza, reflejado en la mortalidad de becerros y en pesos al destete inferiores a los deseables. Estos indicadores evidencian deficiencias en el manejo integral de las crías y afectan directamente la rentabilidad del sistema (Leal-Yepes et al., 2024; Ouellet et al., 2024).

Problemas estructurales asociados

Entre los factores que contribuyen a esta problemática destacan el estrés térmico, las deficiencias sanitarias y los desequilibrios nutricionales. Las altas temperaturas afectan el consumo de alimento y el crecimiento de los animales, mientras que problemas como diarreas, enfermedades respiratorias e infecciones umbilicales incrementan el riesgo de mortalidad (Becker et al., 2020; Gaughan et al., 2024). Asimismo, la dependencia de los recursos forrajeros limita el desempeño productivo, especialmente durante periodos críticos (Thornton et al., 2022).

Problemas de soporte

La falta de registros productivos, la baja inversión en infraestructura y la limitada tecnificación dificultan la implementación de mejoras y la toma de decisiones basada en información objetiva (FAO, 2023). Estas limitantes reducen la capacidad de los productores para enfrentar los desafíos productivos y ambientales (Thornton et al., 2022).

En conjunto, los resultados muestran que los problemas identificados no ocurren de forma aislada, sino que responden a la interacción de múltiples factores, por lo que requieren estrategias integrales de intervención (FAO, 2023; Thornton et al., 2022).

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que las unidades evaluadas operan principalmente bajo sistemas de doble propósito con predominio de prácticas extensivas y niveles limitados de tecnificación. Esta condición influye directamente en la eficiencia productiva, ya que gran parte de las decisiones relacionadas con alimentación, sanidad y manejo dependen de la experiencia del productor. En consecuencia, el desempeño de las unidades ganaderas está determinado por la interacción de factores sanitarios, nutricionales, ambientales y administrativos que afectan la productividad del sistema (Thornton et al., 2022).

Crianza, mortalidad y estrés térmico

La etapa de crianza se identificó como el componente más vulnerable dentro de las unidades evaluadas. La presencia de mortalidad de becerros y los pesos moderados al destete sugieren la existencia de limitaciones asociadas al manejo temprano de las crías. Situaciones similares han sido descritas en sistemas bovinos tropicales, donde el desarrollo durante los primeros meses de vida influye directamente en el desempeño productivo posterior de los animales (Leal-Yepes et al., 2024; Ouellet et al., 2024).

Entre los factores que podrían contribuir a esta situación destaca el estrés térmico, ya que las condiciones climáticas de la región favorecen ambientes que afectan el confort animal y el desempeño productivo. Diversos estudios han demostrado que las altas temperaturas reducen el consumo de alimento, alteran procesos fisiológicos y limitan el crecimiento de los bovinos jóvenes (Becker et al., 2020; Gaughan et al., 2024). Aunque la mayoría de los productores reconoce la influencia del calor sobre la productividad, las estrategias de mitigación observadas continúan dependiendo principalmente de la sombra natural, lo que evidencia oportunidades para fortalecer las prácticas de manejo orientadas al bienestar animal.

Nutrición y promotores de crecimiento

El uso frecuente de promotores de crecimiento y suplementos nutricionales refleja el interés de los productores por mejorar el desempeño de los animales durante la etapa de desarrollo. Sin embargo, los resultados sugieren que estas herramientas son utilizadas dentro de sistemas donde persisten limitaciones relacionadas con la alimentación, el manejo y la sanidad. Bajo estas condiciones, los beneficios potenciales de la suplementación pueden verse reducidos, especialmente cuando no se acompañan de estrategias integrales que permitan mejorar el entorno productivo de los becerros. Diversos autores señalan que los promotores de crecimiento muestran mejores resultados cuando forman parte de programas integrales de manejo y nutrición, y no como medidas aisladas (Parr et al., 2021; Messendorf et al., 2022).

Innovación y adopción tecnológica

La disposición mostrada por una parte importante de los productores para incorporar nuevas alternativas representa un aspecto favorable para futuros programas de intervención. No obstante, la adopción tecnológica continúa condicionada por factores económicos, disponibilidad de recursos y confianza en los resultados esperados. Esta situación coincide con lo reportado en sistemas ganaderos de pequeña y mediana escala, donde la incorporación de innovaciones depende no solo de su eficacia técnica, sino también de su viabilidad económica y adaptación a las condiciones locales (FAO, 2023).

Enfoque integral de intervención

Los hallazgos obtenidos indican que los problemas observados no responden a una sola causa, sino a la interacción de diversos factores que afectan simultáneamente la productividad y sostenibilidad del sistema. Por ello, las acciones de mejora deben orientarse hacia un enfoque integral que combine estrategias de manejo sanitario, nutrición, mitigación del estrés térmico y fortalecimiento de los registros productivos. La atención prioritaria a la etapa de crianza podría contribuir a reducir pérdidas, mejorar el desempeño de los becerros y fortalecer la rentabilidad de las unidades ganaderas evaluadas (Thornton et al., 2022; FAO, 2023).

CONCLUSIONES

Las unidades ganaderas evaluadas presentan características propias de sistemas bovinos de doble propósito con predominio de prácticas tradicionales y niveles limitados de tecnificación.

La principal limitante productiva identificada se concentra en la etapa de crianza, donde la mortalidad de becerros y los pesos moderados al destete afectan la eficiencia y rentabilidad de las unidades de producción.

El estrés térmico constituye uno de los factores que más influyen sobre el desempeño productivo de los animales, al afectar el crecimiento, la salud y el bienestar de los becerros bajo las condiciones ambientales del trópico húmedo.

Aunque el uso de suplementos nutricionales y promotores de crecimiento es frecuente entre los productores, estas herramientas no compensan por sí solas las deficiencias asociadas al manejo sanitario, la alimentación y las condiciones ambientales presentes en el sistema.

La ausencia de registros productivos limita la evaluación objetiva del desempeño de las unidades ganaderas y dificulta la toma de decisiones orientadas a mejorar la productividad.

Los resultados obtenidos evidencian que los problemas observados son de naturaleza multifactorial, por lo que su atención requiere estrategias integrales que consideren simultáneamente aspectos sanitarios, nutricionales, ambientales y de manejo.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes acciones orientadas a fortalecer la productividad, reducir las pérdidas durante la etapa de crianza y mejorar la sostenibilidad de las unidades ganaderas evaluadas.

Manejo neonatal

- Garantizar el suministro oportuno de calostro durante las primeras horas de vida.
- Desinfectar el ombligo al nacimiento para disminuir el riesgo de infecciones.
- Vigilar a los becerros durante sus primeros días de vida para detectar oportunamente problemas sanitarios.

Mitigación del estrés térmico

- Incrementar las áreas de sombra natural o artificial dentro de las unidades de producción.
- Ajustar los horarios de pastoreo para reducir la exposición a las horas de mayor temperatura.
- Asegurar el acceso permanente a agua limpia y suficiente.

Manejo nutricional

- Evaluar periódicamente la calidad y disponibilidad de los forrajes.
- Aplicar suplementación estratégica durante las etapas críticas del desarrollo.
- Complementar la nutrición sin depender exclusivamente del uso de promotores de crecimiento.

Registros productivos

- Llevar controles básicos de nacimientos, mortalidad, pesos y tratamientos sanitarios para fortalecer la toma de decisiones.

Capacitación técnica

- Fortalecer la formación de los productores mediante talleres prácticos, asesoría continua e intercambio de experiencias.

Enfoque integral

- Integrar estrategias de manejo sanitario, nutricional, bienestar animal y administración para reducir la mortalidad, mejorar el peso al destete e incrementar la rentabilidad de las unidades de producción.

REFERENCIAS

Becker, C. A., Collier, R. J., & Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 103*(8), 6751–6770. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17929

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). *Diagnóstico participativo y análisis de sistemas productivos pecuarios*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). *Desarrollo ganadero sostenible y participación de productores rurales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Manual de bienestar animal para el sector bovino*. FAO. https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb3907es/

García, E., López, R., & Martínez, P. (2016). Metodologías participativas para el diagnóstico rural. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(4), 875–886.

Gaughan, J. B., Sammes, S. L., & Lees, A. (2024). Effects of heat waves on blood biochemistry, dry matter intake, and metabolic accommodation in grain-fed cattle. *Journal of Animal Science, 102*(3), skae234. https://doi.org/10.1093/jas/skae234

Herbut, P., Angrecka, S., & Walczak, J. (2021). Environmental parameters for assessing heat stress in dairy cattle—A review. *International Journal of Biometeorology, 65*(10), 1719–1731. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02168-3

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Leal-Yepes, A., Mota-Rojas, D., & Napolitano, F. (2024). Structural growth and locomotor development in calves under tropical production systems. *Animals, 14*(7), 1018. https://doi.org/10.3390/ani14071018

Messendorf, K. A., Smith, Z. K., & Johnson, B. J. (2022). Effects of growth-promoting technologies on beef cattle performance and efficiency. *Translational Animal Science, 6*(2), txac045. https://doi.org/10.1093/tas/txac045

Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Ouellet, V., Rico, D. E., & Laporta, J. (2024). Effects of heat stress on skeletal development and growth physiology in calves. *Journal of Dairy Science, 107*(2), 1440–1456. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23841

Parr, S. L., Johnson, B. J., Galyean, M. L., & Hutcheson, J. P. (2021). Growth-promoting technologies and their role in beef cattle production systems. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 37*(2), 247–261. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2021.02.001

Sejian, V., Bhatta, R., Gaughan, J. B., Dunshea, F. R., & Lacetera, N. (2021). Adaptation of animals to heat stress. *Animal, 15*(Suppl. 1), 100239. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100239

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Anuario estadístico de la producción pecuaria 2024*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/siap

Thornton, P. K., Boone, R. B., Ramirez-Villegas, J., & Herrero, M. (2022). Climate change impacts on livestock systems in tropical regions. *Nature Reviews Earth & Environment, 3*(6), 405–418. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00282-3

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGOS EN MAQUINARIA Y EQUIPO EN CUMPLIMIENTO DE LA NOM-004-STPS-1999.

Martha Bibiana Arriaga López[1]
Alicia Valdés Hernández[2]
Irene Edith Monroy Valdés[3]

RESUMEN

El proyecto consistió en realizar un análisis de riesgos generados por la maquinaria y equipo utilizados en la empresa Corporación Portuaria de Veracruz S.A. de C.V., con el propósito de complementar y actualizar el numeral 5.2 de la NOM-004-STPS-1999. Para ello, se identificaron los equipos presentes en las áreas operativas implicadas, se revisaron sus características de funcionamiento y se determinaron los peligros y riesgos asociados a sus actividades de operación y mantenimiento.

Con la información obtenida se aplicó la metodología de evaluación de riesgos descrita en la NOM-023-STPS-2012, mediante la cual se valoraron la probabilidad, exposición y severidad de cada riesgo, estableciendo así su nivel jerárquico. Este proceso permitió identificar los riesgos predominantes a los que están expuestos los trabajadores y facilitó la definición de medidas de control recomendadas para la reducción de estos.

Palabras Clave: Peligro, riesgo, seguridad, análisis, evaluación.

INTRODUCCIÓN

La seguridad dentro de las organizaciones es un elemento fundamental para garantizar condiciones seguras de trabajo, especialmente en aquellos entornos donde la maquinaria y equipo son elementos que forman parte esencial de las actividades diarias. La interacción de los trabajadores con estos recursos implica riesgos que deben gestionarse para proteger la salud de los trabajadores, reducir la ocurrencia de accidentes y cumplir con la normatividad vigente.

En este contexto, se ha decidido realizar un estudio para identificar, evaluar y documentar los riesgos generados por la maquinaria y equipo que se utilizan en las operaciones diarias de la empresa Corporación Portuaria de Veracruz, S.A. de C.V., en base al numeral 5.2 del apartado 5 “Obligaciones del patrón” que demanda la Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999 relativa a sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. martha.al@veracruz.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. alicia.vh@Veracruz.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. irene.mv@veracurz.tecnm.mx

trabajo. Corporación Portuaria de Veracruz (CPV) es una concesión portuaria multipropósito, enfocada principalmente en brindar un servicio integral a la industria automotriz, la cual está ubicada dentro del Recinto Portuario de la ciudad de Veracruz. Cuenta con una sesión parcial de derechos de la Administración Portuaria Integral (API) conocido hoy en día como ASIPONA, en Veracruz, para realizar todo tipo de operaciones como carga, descarga, y almacenaje dentro del recinto fiscal.

En CPV se realiza la carga y descarga de vehículos automotores y en menor grado mercancía a granel en buques, furgones y tractocamiones. Asimismo, se brindan servicios de acceso y custodia, así como armado y supervisión de viajes, distribución vehicular y taller de refacciones.

Opera con un permiso federal para maniobrar en todas las áreas públicas del Puerto de Veracruz. Además de contar con el Parque de Resguardo (Park Garage) más grande de Latinoamérica, el cual consta de 6 niveles de altura y una capacidad para más de 10 mil vehículos. El Parque de Resguardo no solo es una estructura de almacenamiento para el mercado nacional e internacional, sino también como una estación intermodal para el transporte de vehículos, ya que interactúa con el perímetro de su explanada, con medios de transporte de mercancías (el ferrocarril, los buques de carga y los tractocamiones).



Figura 1.1 Vista exterior de CPV

Asimismo, la empresa CSI GROUP cuenta con más divisiones para el desarrollo de sus operaciones, los cuales son:

Consorcio de Servicios Internacionales, S.A.P.I. de C.V. Es una empresa de transporte dedicada a la industria automotriz, ofreciendo transporte vehicular con tractocamiones por toda la república.



Figura 1.2 Unidad de transporte de CPV

CSI Distribución, S.A. de C.V. Es un centro de distribución multimarcas de 30 hectáreas, ubicado a 21 km del Puerto de Veracruz, con capacidad de 14,000 vehículos en 40 hectáreas desarrolladas con capacidad de crecer 20 hectáreas más. Cuenta con espuelas de ferrocarril con capacidad de recibir hasta 50 furgones en las instalaciones, seguridad armada, cámaras de CCTV, puertas de seguridad y completamente cercada. Brinda servicios de acceso y custodia armado y supervisión de viajes, distribución vehicular, almacenaje, taller de refacciones y servicios adicionales.



Figura 1.3 Patio de resguardo de vehículos

PANORAMA DEL ÁREA DE TRABAJO

El área en la cual se va a llevar a cabo el proyecto es en el Departamento de Seguridad e Higiene, el cual no solo tiene como objetivo salvaguardar la integridad física de los trabajadores, sino que también busca que las operaciones logísticas diarias se realicen de manera segura, siguiendo lo establecido

en las normativas vigentes aplicables, teniendo así una gestión documental eficiente de estas. Por ello, este departamento es clave para la detección y control de riesgos que puedan presentarse en el área laboral. Dentro de las actividades principales que se desarrollan dentro del área se encuentran:

- Identificación de posibles riesgos laborales en las distintas áreas de trabajo en base a las normativas vigentes.
- investigación de accidentes dentro de la empresa.
- Organización y realización de capacitaciones a los trabajadores en temas de seguridad e higiene.
- Coordinación de simulacros y elaboración de programas de emergencia para todo el personal de la empresa.
- Control y entrega de Equipo de Protección Personal (EPP).
- Recepción, registro y resguardo de documentos ST-2, ST-4, ST-7 e incapacidades.

PROBLEMA POR RESOLVER.

Una de las principales actividades del Departamento de Seguridad e Higiene es la revisión de los espacios de trabajo para identificar peligros a los que puedan ser expuestos los trabajadores.

Este aspecto se vuelve aún más importante cuando se toman en cuenta exigencias normativas, por lo que esta área se vuelve un pilar fundamental en la correcta implementación de 18 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para garantizar la salud y el bienestar laboral, las cuales son:

NOM-001-STPS-2008: Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

NOM-002-STPS-2010: Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

NOM-004-STPS-1999: Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.

NOM-005-STPS-1998: Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

NOM-006-STPS-2000: Manejo y almacenamiento de materiales-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.

NOM-009-STPS-2011: Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura.

NOM-011-STPS-2001: Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.

NOM-017-STPS-2008: Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

NOM-019-STPS-2011: Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene.

NOM-020-STPS-2011: Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.

NOM-021-STPS-1994: Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.

NOM-022-STPS-2015: Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciones de seguridad.

NOM-025-STPS-2008: Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.

NOM-026-STPS-2008: Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

NOM-027-STPS-2008: Actividades de soldadura y corte-Condiciones de seguridad e higiene.

NOM-029-STPS-2011: Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo-**Condiciones de seguridad.**

NOM-030-STPS-2009: Servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo-Funciones y actividades.

NOM-036-1-STPS-2018: Factores de riesgo ergonómico en el trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas.

Tomando como referencia estas normas, se realizó un análisis de la información documentada sobre las normas vigentes implementadas en la empresa, en el que se encontró que la NOM004-STPS-1999 relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo, en el apartado de las obligaciones del patrón, se necesitaba actualizar y complementa. Establece la responsabilidad de elaborar un estudio para analizar el riesgo potencial generado por la maquinaria y equipo, en el que se debe hacer un registro de todos los factores y condiciones peligrosas que afecten a la salud del trabajador y clasificar los posibles daños según tipo, gravedad y probabilidad de que ocurran.

Las normas oficiales mexicanas ocupan la última posición dentro de la pirámide de Kelsen, tal como se mencionó: estas normas son de cumplimiento obligatorio en todas las empresas donde se apliquen. Las normas oficiales mexicanas que emite la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) determinan las condiciones mínimas necesarias para la prevención de riesgos de trabajo y se caracterizan por que se destinan a la atención de factores de riesgo, a los que pueden estar expuestos los trabajadores.

En el presente, se encuentran vigentes 41 normas oficiales mexicanas en materia de seguridad y salud en el trabajo. Dichas normas se agrupan en cinco categorías: de seguridad, salud, organización, específicas y de producto. Se muestran a continuación las categorías.

Tabla 1.1 Normas de Seguridad

Número	Título de la norma
NOM-001-STPS-2008	Edificios, locales e instalaciones
NOM-002-STPS-2010	Prevención y protección contra incendios
NOM-004-STPS-1999	Sistemas y dispositivos de seguridad en maquinaria
NOM-005-STPS-1998	Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas
NOM-006-STPS-2023	Almacenamiento y manejo de materiales mediante el uso de maquinaria
NOM-009-STPS-2011	Trabajos en altura
NOM-020-STPS-2011	Recipientes sujetos a presión y calderas
NOM-022-STPS-2015	Electricidad estática
NOM-027-STPS-2008	Soldadura y corte
NOM-029-STPS-2011	Mantenimiento de instalaciones eléctricas
NOM-033-STPS-2015	Trabajos en espacios confinados
NOM-034-STPS-2016	Acceso y desarrollo de actividades de trabajadores con discapacidad

Tabla 1.2 Normas de Salud

Número	Título de la norma
NOM-010-STPS-2014	Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral
NOM-011-STPS-2001	Ruido
NOM-012-STPS-2012	Radiaciones ionizantes
NOM-013-STPS-1993	Radiaciones no ionizantes
NOM-014-STPS-2000	Presiones ambientales anormales
NOM-015-STPS-2001	Condiciones térmicas elevadas o abatidas
NOM-024-STPS-2001	Vibraciones
NOM-025-STPS-2008	Iluminación
NOM-035-STPS-2018	Factores de Riesgo Psicosocial
NOM-036-STPS-2018	Factores de riesgo ergonómico. Parte 1: Manejo manual de cargas

Tabla 1.3 Normas de Organización

Número	Título de la norma
NOM-017-STPS-2008	Equipo de protección personal
NOM-017-STPS-2024	Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo (Actualizado)
NOM-018-STPS-2015	Comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas
NOM-019-STPS-2011	Comisiones de seguridad e higiene
NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad
NOM-028-STPS-2012	Seguridad en procesos y equipos con sustancias químicas
NOM-030-STPS-2009	Servicios preventivos de seguridad y salud

Tabla 1.4 Normas Específicas

Número	Título de la norma
NOM-003-STPS-1999	Plaguicidas y fertilizantes
NOM-003-STPS-2023	Actividades agrícolas-Condiciones de SST (Actualizado)
NOM-007-STPS-2000	Instalaciones, maquinaria, equipo y herramientas agrícolas
NOM-008-STPS-2013	Aprovechamiento forestal maderable
NOM-016-STPS-2001	Operación y mantenimiento de ferrocarriles
NOM-023-STPS-2012	Trabajos en minas subterráneas y a cielo abierto
NOM-031-STPS-2011	Construcción
NOM-032-STPS-2008	Minas subterráneas de carbón
NOM-037-STPS-2023	Teletrabajo-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo

Relación entre peligro y riesgo

Identificar los peligros y riesgos en el ambiente de trabajo es el primer paso para cuidar la seguridad y la salud de los empleados. Esto va más allá de saber qué cosas pueden generar accidentes o enfermedades laborales; implica también evaluar cómo esos factores pueden impactar a quienes trabajan día a día.

Vale la pena resaltar que, si se detectan a tiempo, es posible tomar medidas preventivas antes de que ocurra un incidente, lo que ayuda a reducir los accidentes y enfermedades profesionales.

Aunque muchas veces se usan como sinónimos, peligro y riesgo no son lo mismo, y entender la diferencia es fundamental para gestionar de manera correcta la seguridad en el trabajo.

- Peligro: Es una característica propia de una sustancia, equipo o situación que puede producir un daño. Por ejemplo, una máquina sin las protecciones adecuadas es un peligro porque puede lesionar a quien la use.
- Riesgo: Es la posibilidad de que ese daño realmente ocurra y el impacto que tendría. Por ejemplo, el riesgo sería la probabilidad de que un trabajador sufra una lesión al operar esa máquina sin protección.

Por lo tanto, el peligro puede entenderse como cualquier situación, condición o característica con potencial de causar daño, detener un proceso o generar una lesión. En cambio, el riesgo se refiere a la posibilidad de que ese daño ocurra cuando una persona se expone o interactúa con el peligro, es decir, el riesgo es la consecuencia del peligro. Evaluar los riesgos es lo que permite dar prioridad a las acciones preventivas y definir los controles más efectivos para reducir la exposición a los peligros detectados. Cuando no se implementan medidas adecuadas de control para reducir o eliminar los peligros, aumenta la probabilidad de que el riesgo se materialice y produzca un daño.

Comprender esta diferencia es clave porque ayuda a distinguir lo que se debe eliminar o controlar (el peligro) de lo que se debe gestionar y monitorear (el riesgo).

Identificación de peligros y evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos es el proceso primordial para identificar, cuantificar y controlar los riesgos existentes esto se lleva a cabo utilizando procedimientos y equipos de medición especiales para determinar el nivel o la intensidad de los factores de riesgo de acuerdo con las normas y estándares existentes.

Los principales objetivos de la evaluación de riesgos incluyen determinar el nivel de riesgo, elegir equipos y sustancias apropiados, evaluar la efectividad de las medidas preventivas tomadas por la organización, estimar la necesidad de medidas adicionales y presentar los resultados de las medidas tomadas con los responsables de la organización o empresa. Esto se hace mediante la identificación

de peligros inminentes, la evaluación de la magnitud de los riesgos y la reducción o eliminación de los peligros.

Existen varias metodologías para realizar el estudio, análisis y evaluación de riesgos, como son:

• Análisis de Seguridad en el Trabajo (AST)

• William Fine

• Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP)

• Análisis Causa-Raíz (RCA)

Sin embargo, la que se aplicará en el presente proyecto es la metodología de la NOM-023-STPS-2012, al ser un procedimiento oficial reconocido por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

Identificación de la maquinaria y equipo utilizados

Una vez identificadas las áreas implicadas para la realización de este proyecto, se llevó a cabo un proceso de recolección de información acerca de la maquinaria y equipo utilizados en el Taller de Mantenimiento, Servicios Automotrices y Servicios Generales. Esto con el objetivo de llevar un registro ordenado y actualizado de todos los equipos presentes en los departamentos antes mencionados. Para ello, la actividad consistió en la obtención de información a través de los supervisores de cada departamento.

Con la colaboración del personal, se realizó una investigación de campo en las tres diferentes áreas involucradas y durante estos, se anotó el nombre de los equipos presentes, así como también se tomaron fotografías de su condición o estado actual y de sus placas de identificación, donde se pudieron obtener datos como la marca y modelo para aquellos casos donde se logró visualizar esta información.

Cabe señalar que, al momento de realizar el estudio, el área de Taller de Mantenimiento si contaba con un listado actualizado de la maquinaria y equipo ubicado en ese sitio (correspondiente al año 2025), lo cual facilitó la consulta, verificación y registro de los datos necesarios para el nuevo listado actualizado. Tras haber recabado la información necesaria, se procedió a realizar el listado actualizado de la maquinaria y equipo del centro de trabajo.

Asimismo, es necesario mencionar que, además de la maquinaria y equipo, se incluyeron también herramientas eléctricas en el estudio. Esto con el fin de garantizar un análisis completo de todos los recursos que pueden llegar a intervenir en las actividades operativas de las áreas, y sobre todo que puedan generar peligros para los trabajadores.

Análisis de las características y condiciones físicas

Una vez definidas la maquinaria, equipo y herramientas eléctricas ocupadas actualmente, se procedió a realizar un análisis de las características de funcionamiento y condiciones actuales de los equipos.

Esto con el propósito de dar cumplimiento al punto 5.2.1 de la NOM-004-STPS-1999, en el cual se establece que, en la elaboración del estudio de riesgo potencial se deben analizar:

a) las partes en movimiento, generación de calor y electricidad estática de la maquinaria y equipo;

b) las superficies cortantes, proyección y calentamiento de la materia prima, subproducto y producto terminado.

c) el manejo y condiciones de la herramienta.

Para lograr lo anterior, se desarrolló un formato de elaboración propia conformado por dos secciones principales: uno correspondiente a las características de funcionamiento de la maquinaria y equipo, y otro que describe el manejo y las condiciones actuales.

Dentro de esta tabla, en la primera columna a la izquierda, se colocaron el nombre de la maquinaria o equipo, su marca y modelo, así como la cantidad correspondiente entre paréntesis, para aquellos casos en los que los equipos si cuenten con estos datos. Esto con el objetivo de facilitar su identificación y agrupación dentro del análisis, recordando que son equipos que comparten las mismas características físicas y especificaciones técnicas.

Otro punto importante de mencionar es que, para el caso de los remolques tipo romano y Dolly, estos se evaluaron y analizaron en conjunto como un solo sistema de remolque, ya que durante su operación ambos se utilizan acoplados. Lo mismo se realizó para el caso de las hidrolavadoras (de agua caliente y agua fría) y las pistolas de agua a presión, debido a que ambas funcionan conjuntamente.

Medidas de control

En este último apartado se describen las acciones destinadas a disminuir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos identificados en el análisis, garantizando condiciones seguras para los trabajadores. Se incluyen tanto las medidas de control generales que ya están implementadas en la empresa, como aquellas que se proponen como un complemento para lograr fortalecer la seguridad.

Cabe señalar que el punto 7.9 de la NOM-023-STPS-2012, donde se indica el orden de atención de los riesgos jerarquizados como graves, elevados, medios, bajos y mínimos, no se aplicó debido a que el presente proyecto solo toma como referencia de la norma la metodología para el cálculo de la magnitud del riesgo y su jerarquización correspondiente, sin establecer un plan detención para los riesgos.

RESULTADOS

Se registraron un total de 19 peligros mecánicos, 6 eléctricos, 15 térmicos, 8 de ruido, 2 por vibraciones, 3 por radiaciones, 15 relacionados con materiales y sustancias y 17 ergonómicos.

Se observa que el valor más alto son los peligros mecánicos, lo cual es debido a que la mayoría de los equipos en esta área cuentan con partes móviles y mecanismos de elevación. Por el contrario, el valor más bajo pertenece a los peligros generados por vibraciones, ya que la exposición a este tipo de peligro solo ocurre en ciertas herramientas que generan vibración directa. Se registraron un total de 67 riesgos mínimos (49.26%), 33 bajos (24.26%), 23 medios (16.91%),
12 elevados (8.82%) y únicamente 1 grave (0.74%). Se observa que el porcentaje más alto pertenece a los riesgos clasificados como mínimos, lo cual sugiere que los factores que determinan la magnitud del riesgo (la probabilidad, exposición y severidad) se mantienen en rangos bajos para la mayoría de los casos. Esto se debe a las diversas medidas de control implementadas en el centro de trabajo, las cuales han permitido reducir la ocurrencia de accidentes, manteniendo un nivel de riesgo bajo y protegiendo la salud de los trabajadores.

Los resultados muestran un total de 4 peligros mecánicos, 5 eléctricos, 3 térmicos, 2 de ruido, 1 por vibraciones, 1 por radiaciones, 6 relacionados con materiales y sustancias y 7 ergonómicos.

Se observa que el valor más alto son los peligros ergonómicos, lo cual es debido a que varias de las actividades realizadas en esta área implican movimientos repetitivos durante la operación de los equipos. Por el contrario, el valor más bajo pertenece a los peligros generados por vibraciones y radiaciones, ya que únicamente 2 equipos están asociados a estos riesgos (la pulidora eléctrica y la lámpara infrarroja).

CONCLUSIÓN

Se concluyó con éxito el análisis de riesgos generados por la maquinaria y equipo de la empresa Corporación Portuaria de Veracruz, S.A. de C.V., y con ello se logró complementar y actualizar el numeral 5.2 de la NOM-004-STPS-1999 (relativa a Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo), tomando en cuenta los requisitos solicitados por la norma vigente.

Se analizaron las características de funcionamiento de los equipos, y en base a estas, se determinaron los riesgos presentes durante su operación o mantenimiento. Posteriormente, se realizó una evaluación cuantitativa a cada uno de los riesgos identificados, valorando numéricamente la probabilidad, exposición y severidad de estos, y de esta manera asignar la magnitud del riesgo.

En los resultados obtenidos, se determinó que, de manera general, el 49.25% de los riesgos identificados fueron clasificados como mínimos, el 26.63% como bajos, el 16.08% como medios, el 7.54% como elevados y el 0.50% como graves. Por lo que se pudo observar que el tipo de riesgo

predominante fue el jerarquizado como “mínimo”. Esto es debido a las acciones de control implementadas en el centro de trabajo, las cuales han permitido reducir la ocurrencia de accidentes.

A pesar de que la mayoría de los riesgos evaluados fueron clasificados como mínimos (49.25%) y bajos (26.63%), hay que tener en consideración aquellos con nivel medio, elevado y grave para prevenir algún tipo de accidente. Por ello, se recomienda verificar de manera periódica el uso correcto del Equipo de Protección Personal (EPP), así como también asegurar su disponibilidad, especialmente para aquellas actividades donde existe la exposición a radiaciones, proyecciones de partículas, materiales y sustancias químicas.

Asimismo, se sugiere fortalecer las capacitaciones para el personal que utiliza o realiza el mantenimiento a la maquinaria y equipo, abarcando temas como procedimientos para la operación y mantenimiento seguro de los equipos, así como también darles brindarles información acerca 87 de todos los posibles riesgos a los que pueden estar expuestos, y de esta manera concientizar al personal acerca de las consecuencias que pueden ocasionar a su salud.

REFERENCIAS

Álvarez Valencia, J. D., & Ruales Luna, J. J. (2022). Estudio del riesgo mecánico y prevéción de accidentes laborales en los puestos de trabajo en el área de paneles de la empresa Novacero S.A. Repositorio Institucional UPS.
https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23939/1/UPS-GT004124.pdf

Ararat Lucumí, L. M., & Méndez Castillo, M. T. (2024). Metodologías para la identificación de peligros y la evaluación y valoración de riesgos en las condiciones y medio ambiente de trabajo en el sector metalmecánico en Colombia entre los años 2019:2023.RepositorioUNIAJC.https://repositorio.uniajc.edu.co/server/api/core/bitstreams/4f0e7f06-d127-4957-9432-92d3dec38f89/content

Arellano Díaz, J., & Rodríguez Cabrera, R. (2013). Salud en el trabajo y seguridad industrial. Alpha Editorial.

Armenta Acosta, I., King Montiel, N. F., Ruiz Ibarra, J. I., & Flores Zamorano, J. A. (2025).
Análisis de riesgo en maquinaria y equipos con base a la NOM-004-STPS-1999 en empresa del ramo alimentario. Revista NEYART, 3(2), 18–40. https://revistaneyart.com/neyart/article/view/99/244

Calzada Olivares, R. (2023). Establecer las condiciones de seguridad y los sistemas de protección y dispositivos para prevenir y proteger a los trabajadores contra los riesgos de trabajo que genere la operación y mantenimiento de la maquinaria y equipo bajo la Norma NOM-004-

STPS-2020 y la filosofía Lean Safety en la empresa Durfor Maquinaria Industrial y Agrícola. https://pabe-llon.tecnm.mx/CENTRODEINFORMACION/app/files/181050205%20Rene%20Calzada%20Olivares.pdf

CSI GROUP. (s. f.). https://ws.csigroup.com.mx/Sunus/Bienvenido.aspx

CSI. (s. f.). https://ws.csigroup.com.mx/csi-web/

Gómez Pacheco, P. L. (2023). Evaluación de los procesos de mantenimiento mediante la aplicación de análisis de riesgos, en el área de taller de maquinaria, de la empresa Triturados Santa Clara S.A. de C.V. Repositorio Nacional TecNM. https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5744/1/0056%20PAOLA%20LIZETH%20GOMEZ%20P ACHECO%20proyecto.pdf

Komatsu Latinoamérica. (2022). Operación de maquinaria pesada: funciones y tips de seguridad. https://www.komatsulatinoamerica.com/colombia/operacion-de-maquinaria-pesada-funciones-y-tips-de-seguridad/

PROPUESTA DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA GANADERIA DEL CORREDOR TRASNSÍSMICO DE MÉXICO.

Salvador Paredes Rincón[1]
Luis Alberto Montes Gutiérrez[2]
Ana Grisel Hernandez Vallejo[3]

RESUMEN

En particular la ganadería extensiva en México y Latinoamérica, la agricultura cabalgante, desmontes, incendios, la deforestación para creación de pastizales, han originado degradación del suelo y cubierta vegetal, efectos negativos en los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos de los ecosistemas, que han contribuido al cambio climático. Sin embargo, aplicando los principios de la ganadería sustentable como, frenar la degradación del suelo y promover su recuperación con los procesos ecológicos, proteger las fuentes de agua y su uso racional, conservar y aprovechar la biodiversidad asociada a la ganadería, aumentando la producción de biomasa de calidad nutricional forrajera por el uso de especies diversas compatibles, e intensificando la producción animal y forestal por unidad de superficie. Lo anterior se puede lograr estableciendo y manejando adecuadamente Sistemas Silvopastoriles (SSP). Ya que estos aumentan la biodiversidad y la integridad ecológica, producen más biomasa y alimento, mejoran la nutrición animal, reducen el estrés calórico, mejoran la fertilidad y producción, usan más eficientemente la tierra y protegen y restauran servicios ambientales. Se propone el establecimiento de SSP para las zonas devastadas el corredor interoceánico de Tehuantepec, donde no escapan de la deforestación y degradación de pastizales.

Palabras clave: Deforestación, ganadería extensiva, Sistemas Silvopastoriles.

INTRODUCCIÓN

Caballero, (2022). Señala que procesos históricos revelan como el campo mexicano se ha deteriorado, así entre los años 1872 y 1982 cuantiosos montos se destinaron para el desarrollo ganadero (Banco Mundial (BM) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Cuando existía la **PRONADE** (Compañía Nacional de Desmontes), transformando millones de hectáreas de selva tropical, bosque húmedo y subhúmedo en pastizales pastizales para la **ganadería extensiva y la agricultura**, para los nuevos

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. paredesrincon@yahoo.com.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. luis.mg@ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. ana.hv@ ugalvan.tecnm.mx

colonos mexicanos en los Nuevos Centros de Población Ejidal, para alcanzar la autosuficiencia alimentaria del país. Objetivo que fracasó.

Castro y Estévez (2021), señalan que la ganadería intensiva y la agricultura convencional, basada en el monocultivo y el uso del paquete tecnológico, originaron la erosión del suelo y su deficiencia de minerales, la deforestación, el sobrepastoreo y el uso no racional de los recursos naturales, es cada vez mayor y esto genera empobrecimiento de la población rural, pues cada vez el agroecosistema es más dependiente de insumos externos, y a medida que el suelo se degrada, sus rendimientos disminuyen gradualmente, y la necesidad de fertilizantes y pesticidas se hacen mucho mayores. Por otra parte, Leakey (2014), "explica que el deseo de seguridad y riqueza impulsa la deforestación, el pastoreo excesivo y el uso no sostenible de los suelos y el agua, causando la degradación del agroecosistema". Esto trae como consecuencia pérdida de biodiversidad, descomposición de las funciones del ecosistema que regulan las cadenas tróficas, y el ciclo de los nutrientes.

La ganadería extensiva ha provocado impactos negativos en el ambiente, como lo son la compactación del suelo, el detrimento de la biodiversidad, la deforestación, la contaminación de fuentes hídricas y la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático, uno de los inconvenientes ambientales más preocupantes

Alonso (2011), señala que "el efecto más adverso que se ha constatado (Boff 1999) se relaciona con la aplicación y adopción progresiva de métodos intensivos, focalizados exclusivamente en un objetivo productivo, sin tener en cuenta el sustento natural de los sistemas de producción". Debido al uso irracional de estas tecnologías intensivas y a las políticas gubernamentales, los recursos naturales que son necesarios para impulsar el desarrollo agropecuario en la mayoría de los países tropicales experimentan un deterioro acelerado, que pone en peligro la satisfacción de las necesidades más vitales de las generaciones futuras, con sus consiguientes riesgos para la estabilidad ecológica, social, política y económica de los países en vías de desarrollo. Se señala que los sistemas de producción animal en el trópico se basan en el uso de gramíneas forrajeras en monocultivos. Estas se caracterizan por su relativamente bajo valor nutritivo y disponibilidad irregular.

Maldonado et al. (2008 señalan en el estado de Tabasco, México, el desarrollo de la ganadería ha eliminado o destruido la vegetación y la desaparición de numerosas especies de plantas y animales, alrededor del 90% de la vegetación original, principalmente selva alta perennifolia fue devastada (en 1992 sólo 8% de la superficie del estado tenía vegetación natural y 18% de ella con un alto grado de perturbación (Flores y Gerez, 1994). *Villanueva* (2018) asegura que la actividad ganadera, considerando todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) contribuye con el 14,5% de las emisiones globales. Estas emisiones se deben principalmente a las fuentes siguientes: i)

emisiones de metano (CH_4) procedentes de la fermentación entérica; ii) emisiones de metano y óxido nitroso (N2O) procedentes del manejo del estiércol; iii) emisiones directas provenientes de fertilizantes nitrogenados sintéticos; iv) emisiones de dióxido de carbono (CO^2) procedentes de la utilización de combustibles fósiles debido al uso de maquinaria y equipo agrícola en la finca; y v) emisiones de dióxido de carbono procedentes de los cambios en los usos de la tierra. En la Sierra de Otontepec se observa el clásico cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, y dos o tres años después, a ganadero. El abasto de agua del que dependen la ganadería y las poblaciones cercanas está en peligro. En Papantla la ganadería también sigue expandiéndose, a costa de las áreas forestales. Sólo un 15% de la superficie del municipio está arbolado (Paré y Alatorre, 1992), otras áreas de impacto ganadero son la zona de manglares del estero Lagartos, y Tecolutla. Asimismo, en el área protectora de la zona de Veracruz una serie de invasiones, asentamientos y lotificaciones irregulares han venido destruyendo zonas de manglar, selva baja y selva mediana, donde además hay valores arqueológicos. En la turística zona de Boca del Río los drenajes afectan la calidad de los mariscos. (Paré y Alatorre, 1992). En el Pico de Orizaba se han talado tanto que prácticamente ya no quedan bosques. También en la Sierra de Zongolica el recurso forestal está muy deteriorado. Además del tremendo impacto ecológico y social en la zona, la tala ha repercutido en el abasto de agua. En la Sierra de los Tuxtlas sigue avanzando la ganadería a pesar de ser factor principal de desforestación, y las políticas económicas estatales, a través de los créditos, siguen promoviendo esa actividad. La crisis del café está afectando particularmente a los pequeños productores, que tienden a tirar sus cafetales y la vegetación que les da sombra para establecer potreros. En todos estos lugares mencionados el uso indiscriminado de agroquímicos contamina los suelos y ríos y es un peligro para la salud. (Paré y Alatorre, 1992)

La ganadería bovina es vista como un sector productivo que atenta contra la sostenibilidad ecológica mundial. Sin embargo, el concepto puede cambiar cuando se contemplen alternativas que permitan solucionar los problemas relacionados con su actual sistema de producción. Por lo tanto, es necesario su reconversión mediante el establecimiento de sistemas alternativos como los sistemas silvopastoriles. (Mahecha, 2003). “Existen diversos tipos de sistemas silvopastoriles para ser incorporados en la ganadería. Entre más complejo sea el sistema, mayores serán los beneficios que brinden. En el establecimiento del SSP es necesario tener en cuenta el tipo de especies forrajeras a utilizar, su susceptibilidad al tipo de suelo, a las condiciones climáticas, a la sombra y la densidad apropiada para utilizar. En el establecimiento de un sistema silvopastoril y en los beneficios que pueda prestar una vez establecido, es necesario tener en cuenta el tipo de especies forrajeras a utilizar, su susceptibilidad al tipo de suelo, a las condiciones climáticas, a la sombra y la densidad apropiada para

utilizar. Los sistemas silvopastoriles representan una opción estratégica para la ganadería. (Mahecha, 2003).

Por otro lado, Leakey. (2014), menciona que la agroforestería ayuda y da estética ambiental, integrando diferentes especies de árboles en los paisajes agrícolas, aumentando la diversidad y el embellecimiento del paisaje (Mcadam et al. 2008). Además, (Hedge 2014) señala que la agroforestería es reconocida por su uso integrado de la tierra mejorando directamente la biodiversidad y contribuyendo a su conservación. Estos roles principales de esta contribución: i) proporcionar hábitat para especies que toleran cierto nivel de perturbación, ii) preservar el germoplasma de especies sensibles, iii) reducir la tasa de radiación solar. Los sistemas agroforestales integran la deliberada retención o introducción de la diversidad silvestre o forestal en coexistencia con cultivos y animales domésticos en formas de manejo de la tierra predominantemente agrícolas con el objetivo de obtener beneficios ecológicos, económicos y sociales (Nair y Garrity, 2012).

Moreno *et al*.,(2021) sostienen que en México, esta forma de manejo tiene una larga historia y se expresa en paisajes y sistemas agroforestales como terrazas, campos elevados y milpas agroforestales donde se conservan la mayoría de la riqueza de los maíces, frijoles, calabazas y quelites nativos, así como de especies de frutales locales; huertos familiares para la autosuficiencia alimentaria; agrobosques donde se realiza la producción de café, canela, vainilla, piña y cacao para la obtención de ingresos a través de los mercados locales, regionales y globales; y sistemas agrosilvopastoriles de origen colonial y recientes (Moreno-Calles et al.,2016 b).

El manejo agroforestal integra estrategias de uso múltiple de la diversidad biológica y biocultural que proveen de beneficios ambientales a los seres humanos a escala local, regional y global. Con éstas se atenúan los efectos de las heladas y la erosión aportando sombra y protección, se suministra de hábitat a especies útiles, se mantiene o incrementa la fertilidad del suelo, se disminuye el efecto de los huracanes en los cultivos, se participa en el control de las quemas, se proporcionan servicios hidrológicos, por lo que se constituyen en alternativas importantes para la mitigación y adaptación al cambio climático (Jose, 2009; Montagnini et al. 2015). Además, esta forma de manejo integra aspectos culturales, sociales y políticos, como son: las cosmovisiones, los conocimientos, las prácticas y las formas de gobernanza de las unidades sociales que los manejan (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Estudios realizados en zonas cafetaleras López y Arellanos (2022); concluyen que la diversidad alfa arbórea decrece desde los sistemas más amigables a los menos amigables con la conservación de la diversidad. se discutió la necesidad de implementar una red que se centrara en la investigación, la docencia, la vinculación y la incidencia política en los sistemas agroforestales. Así nació la idea de crear la Red de Sistemas Agroforestales de México (RedSAM), (López y Arellanos, 2022). Otro grupo

lo constituye el Colegio Mexicano de Agroforestería Pecuaria (quienes han estudiado e incidido en los sistemas agrosilvopastoriles, donde las ciencias agronómicas y veterinarias y la agroforestería pecuaria toman relevancia, ligados a grupos de productores y ganaderos y con Interacciones relevantes con instancias gubernamentales).

Dentro de los Sistemas Agroforestales, los SSP se definen como aquella práctica que combina árboles con praderas y producción animal en un mismo sitio o potrero, con el objetivo de mejorar la productividad de los suelos y en forma sustentable. De estos sistemas se pueden obtener productos económicos derivados de los animales, como carne, leche, lana, cuero y otros, derivados de los bosques, como madera, leña, postes, polines, y productos forestales no maderables como carbón, hojas, frutos, miel y otros; y forraje de la pradera para alimentación del ganado. Algunos de los principales beneficios del uso de sistemas silvopastoriles, aparte de los beneficios productivos o económicos ya mencionados, son: Protección que ofrecen los árboles, tanto a los animales como a la pradera, frente a condiciones climáticas adversas. Diversificación de la actividad productiva de la mediana y pequeña propiedad agrícola o forestal, mediante un uso eficiente y sustentable de los recursos disponibles del predio. Generación de flujos de caja anuales que mejoran la liquidez de la empresa tradicional. Reducción de riesgos de incendios y control del crecimiento de malezas, respecto de plantaciones forestales tradicionales. Protección de los suelos y disminución de los niveles de erosión. Protección a los cursos y fuentes de agua. Mejoramiento de la belleza escénica del predio. Los SSP tienen como objetivo mejorar la productividad de los suelos y en forma sustentable. De estos sistemas se pueden obtener productos económicos derivados de los animales, como carne, leche, lana, cuero y otros, derivados de los bosques, como madera, leña, postes, polines, y productos forestales no maderables como carbón, hojas, frutos, miel y otros; y forraje de la pradera para alimentación del ganado.

Los SSP representan una alternativa para la producción de forraje para ganado y leña, la reducción de la degradación del suelo y la diversificación de la producción agropecuaria (Sáenz-Ceja et al., 2022) En estos sistemas se combinan la producción de forrajes para la alimentación de ganado y la presencia de especies arbóreas en un espacio común, cuyo origen incluye la siembra de gramíneas forrajeras en bosques remanentes, o la plantación de árboles en una unidad de producción pastoril (Sáenz-Ceja et al., 2022).

El uso de sistemas silvopastoriles se ha extendido mundialmente en regiones tanto tropicales como templadas, con una amplia variedad de prácticas como el ramoneo directo del ganado, cultivo en franjas, árboles intercalados, cortinas rompevientos, árboles multipropósito y sistemas intensivos como los bancos de forraje ((Kunst et al., 2026; Nair,2014). En los sistemas silvopastoriles se combinan la

producción de forrajes para la alimentación de ganado y la presencia de especies arbóreas en un espacio común, cuyo origen incluye la siembra de gramíneas forrajeras en bosques remanentes, o la plantación de árboles en una unidad de producción pastoril (Kunst *et al*. 2016). Los SSP ofrecen variados beneficios ambientales, como: ¬ Otorgar protección invernal a los animales y a la pradera, en particular del efecto del viento y bajas temperaturas, y al suelo. ¬ Mejoramiento de la capacidad de retención de humedad en el suelo. Aumento del contenido de materia orgánica del suelo. En un sentido económico: La integración que logra el manejo silvopastoril permite la producción de madera de alta calidad y productos animales, generando ingresos de: Corto plazo, provenientes de las operaciones ganaderas. Mediano plazo, originados por madera de dimensiones pequeñas, producto de raleos, y de los animales. Largo plazo, generados por la madera proveniente de la cosecha de los árboles (INSTITUTO FORESTAL Centro Agroforestal Patagónico, 2009).

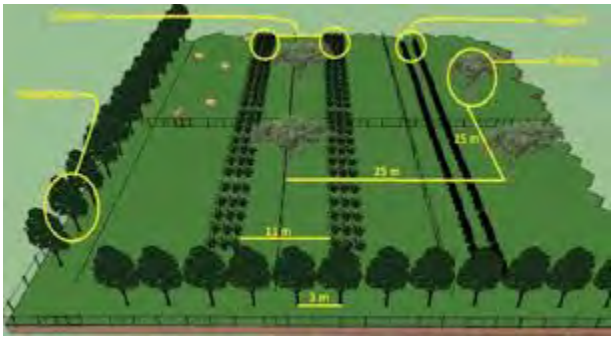


Figura 1. Sistema Silvopastoril con arreglo espacial en callejones y cortinas rompevientos.



Figura 2. Sistemas radiculares de árboles, arbustos y pastos en un SSP.

Beneficios de los SSP. Arciniegas-Torres y Flórez-Delgado (2018), sostienen que los SSP “son vistos como una solución factible para la ganadería con enfoque de sostenibilidad”; ellos destacan que la ganadería contribuye con la seguridad alimentaria, al generar productos alimenticios, empleos e ingresos; no obstante que su inadecuado manejo hayan generado impactos negativos en el ambiente, como lo son la compactación del suelo, el detrimento de la biodiversidad, la deforestación, la contaminación de fuentes hídricas y la emisión de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático, uno de los inconvenientes ambientales más preocupantes, ya que perjudica a todos

los seres vivos del planeta. Por esta razón, se hace indispensable ahondar en el tema de los sistemas silvopastoriles, sus tipos, ventajas y desventajas, con el fin de presentarlos como una alternativa de solución que contribuye con la mitigación del efecto que tiene la ganadería sobre el medioambiente, representando una opción viable para su conservación y adaptación al cambio climático al permitir intensificar la producción ganadera mediante la optimización y uso racional de los recursos naturales. Los Sistemas Silvopastoriles (SSP) combinan árboles, pastos y ganado en la misma superficie— han demostrado ser estrategias altamente efectivas para la producción sostenible. Sus principales experiencias en servicios ambientales se dividen en cuatro áreas clave: [Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007), Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J.

1. Regulación del Clima y Captura de Carbono

Los árboles en los SSP reducen la temperatura ambiental, lo que disminuye el estrés calórico del ganado y mejora su bienestar. A nivel global, aumentan la captura de carbono tanto en la biomasa aérea como en el suelo, ayudando a mitigar el cambio climático. [Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007), Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012).

En la fijación de Carbono, se mejoraría significativamente si se establecen SSP, en unidades de producción pecuarias degradadas. Obsérvese en la figura el almacenamiento de C en diferentes usos del suelo (Figura 3).

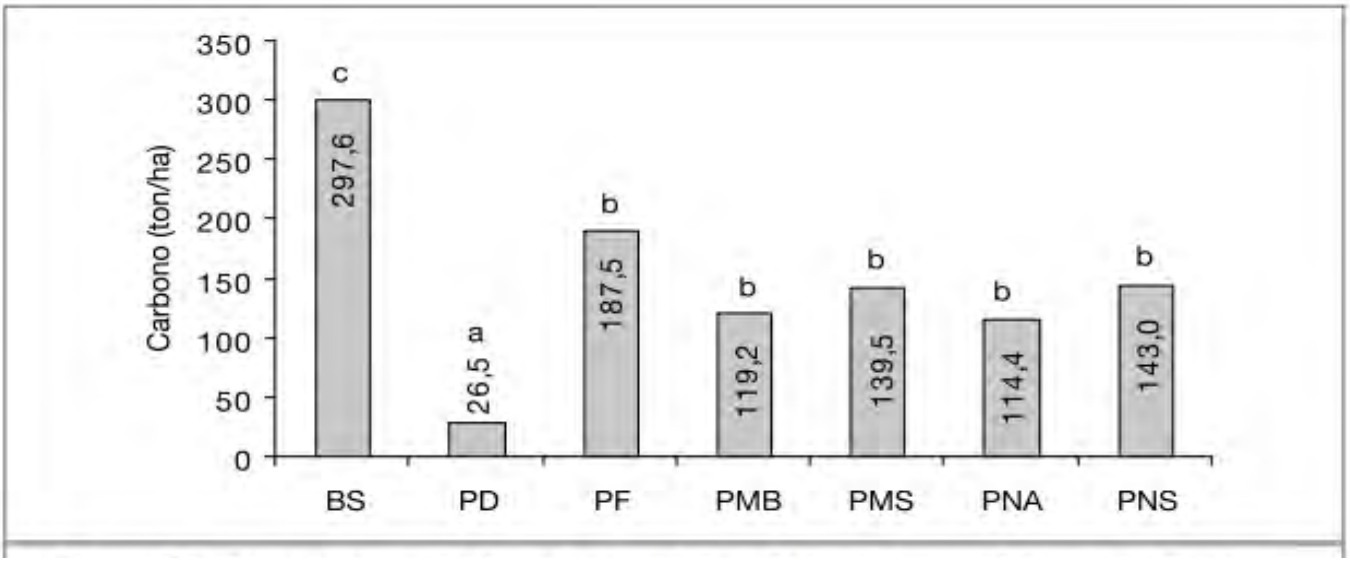


Figura 3. Almacenamiento de carbono total en diferentes usos del suelo en Esparza, Costa Rica, 2004. Letras diferentes indican diferencias significativas según prueba de LSD Fisher p≤0,05. BS: bosque; PD: pastura degradada; PF: plantación forestal de teca; PMB: pastura mejorada baja densidad de árboles; PMS: pastura mejorada sin árboles; PNA: pastura natural alta densidad de árboles; PNS: pastura natural sin árboles. Fuente: Ibrahim et al. (2000)

2. Recuperación y Conservación del Suelo. Los SSP mejoran la estructura del suelo, evitan la erosión y aumentan la retención de agua y nutrientes. Las raíces de los árboles fijan nitrógeno y mejoran la materia orgánica, restaurando tierras degradadas por la ganadería tradicional. [Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007), Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012).] [3, 4]

3. Fomento de la Biodiversidad. Estos sistemas proporcionan un hábitat, refugio y corredor biológico para diversas especies de fauna silvestre (aves, insectos y mamíferos), permitiendo que la biodiversidad coexista con las actividades agropecuarias. [Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007), Las pasturas con alta cobertura arbórea y cercas vivas multiestratos que se manejan con buenas prácticas de manejo contribuyen a la conservación de las especies de aves y mariposas en el paisaje agropecuario (Figura 4).

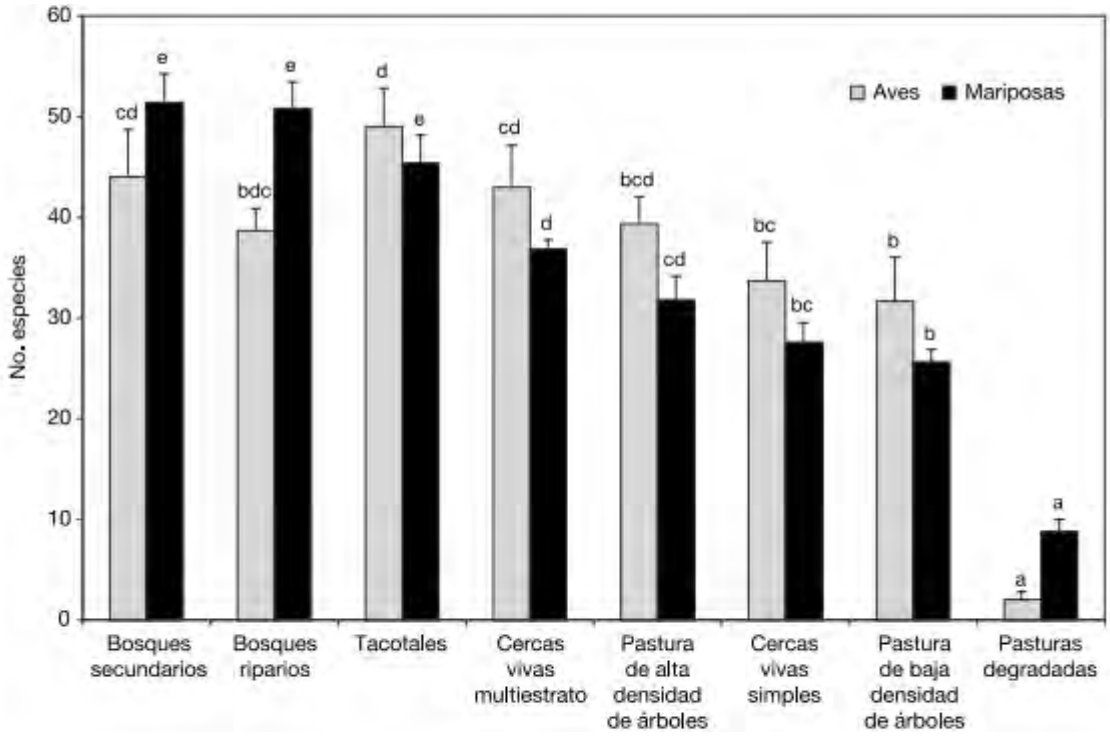


Figura 4. Número de especies de aves y mariposas registradas en los monitoreos de diversidad en diferentes usos de la tierra en Esparza, Costa Rica. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Las barras indican el error estándar. Fuente: Sáenz (2005); Tobar et al. (2007).

4. Ciclo Hidrológico y Calidad del Agua

La cobertura arbórea actúa como una esponja natural que mejora la infiltración del agua de lluvia hacia los mantos acuíferos y reduce la escorrentía superficial, mejorando la calidad del agua (Cuadro 1). [Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007); Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012).]

Uso de suelo	Precipitación (%)	ET* (%)	Escorrentía (%)	Infiltración (%)	Erosión (t ha^{-1} año^{-1})
Pasturas naturales sobrepastoreadas	100	5,8	25,7	68,5	42
Pasturas mejoradas con árboles dispersos	100	5,2	14,0	80,8	11
Plantación forestal	100	10,5	9,3	80,2	6
Bosque secundario intervenido	100	5,2	8,1	86,7	5
Banco forrajero	100	9,4	5,6	85,0	3

*ET: Evapotranspiración
Fuente: Proyecto GEF Silvopastoril (2007); Ríos et al. (2007)

Cuadro 1. Balance hídrico (%) y erosión en diferentes sistemas ganaderos y un bosque secundario

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento de SSP.

Existen diferentes métodos para establecer ssp, estos varían según la densidad y el arreglo espacial, y el éxito depende de realizar un **análisis de suelo**, seleccionar **especies adaptadas a la región**, y proteger los árboles jóvenes. (Quintoet al., 2009). Mientras las especies arbóreas se desarrollan, el terreno puede ser ocupado con siembra de maíz, así cuando las arbóreas y arbustos forrajeros tengan altura de más de 2 metros, ya se habrá establecido el pasto, y cuando este tenga una cobertura superior al 80%, ya se puede meter el ganado a un pastoreo leve. Así Quinto et al, (2009), establecieron por el método Nezahualcóyotl un SSP en lugares de ladera en curvas a nivel árboles con dos meses de crecimiento en vivero, el pasto fue *Brachiaria brizantha* y bovinos a media ceba. se construyeron a nivel cinco bordos–zanjas, sobre los bordos se plantaron cada 4 m e intercalados, los. A cuatro meses de la plantación la supervivencia fue similar (a=0.05) entre especies y superior a 80 %. El componente ganadero no se implementó en campo sólo se describió su diseño y planeación. Se concluyó que el método Nezahualcóyotl es una opción para el establecimiento del componente arbóreo de un sistema silvopastoril en terrenos con pendiente. (Quinto et al., 2009). La mayoría de estos sistemas son de producción tradicional de escala baja, en unidades familiares, con fertilización predominantemente orgánica y especies arbóreas nativas o introducidas de rápido crecimiento (Cubbage, et al, 2012)

Acorde con lo recomendado por el Centro Agroforestal Patagónico 2009. En la planificación y diseño de sistemas silvopastoriles debe considerarse lo siguiente: El lugar y sus recursos naturales, Forma de Establecimiento de SSP, Diseño del SSP,, Elección de la Densidad Forestal y Configuración, 3. establecimiento de SSP Definir el Componente Arbóreo Habilitación el terreno, Plantación, Mejoramiento, Regeneración y Manejo de la Pradera Naturalizada, Fertilización, Regeneración de la Pradera, Manejo de Praderas para Sistemas Silvopastoriles, manejo del SSP, Interacción entre los Componentes, Manejo de la Competencia de la Pradera y Malezas con las Plantas Forestales, Manejo de los Árboles para no Afectar el Desarrollo de la pradera, Manejo de la Interacción animal-árbol, Manejo de la competencia por luz, Manejo del componente arbóreo, Selección y clasificación de árboles, podas y raleos.

Planificación del SSP. Cada sitio o terreno en un predio tiene una aptitud productiva propia, que permite definir su adecuado uso productivo. Estos usos son agrícolas, ganaderos, forestales y de protección (Figura 2), de acuerdo a las características físicas y químicas de los suelos y a las condiciones climáticas del lugar. Debe considerar la topografía y la exposición del terreno, la fertilidad, profundidad y pH de los suelos, y parámetros del clima, como precipitación, temperaturas máximas y mínimas, viento, heladas y humedad ambiental, principalmente. Considerando además los aspectos de protección y conservación de los recursos naturales, como suelo, agua y vida silvestre. Generalmente, en la planificación de los usos productivos que se le da al suelo, se suele simplificar y optar por un solo uso, ya sea agrícola (trigo, pradera, otro), ganadero (vacunos, ovejas, otro) o forestal (plantación de árboles con fines madereros u otro).



Figura 5. Vocación productiva de un sitio.

Al forestar terrenos con lomaje suave, de aptitud forestal-ganadera, sin peligro de erosión de sus suelos, con fines solamente de producción forestal (Ejemplo 1.250 arb/ ha), se pierde la opción de obtener productos intermedios durante la rotación forestal, que pueden ayudar a mejorar la economía agrícola, a través de carne, lana, forraje, granos u otros, lo cual suele desincentivar a los agricultores para forestar esos terrenos. Con una adecuada planificación productiva predial, se puede optar por la combinación de más de una opción de uso de los suelos en el predio, como por ejemplo combinando especies arbóreas con ganado y praderas en un mismo terreno y tiempo, el propietario debe seleccionar previamente las especies de árboles, animales y pastos que utilizará durante el periodo de manejo integral, lo cual obliga a conocer las opciones productivas posibles de su predio y el mercado para los productos que está planificando obtener.

Qué tipo de árbol o arbusto usar: Dependerá de lo que el agricultor espera obtener del árbol o arbusto, como madera para uso industrial y venta, trozos aserrables o pulpables (metro ruma), postes, polines; madera para su uso domestico, como leña, postes, polines, madera para construcciones en el predio; forraje y protección para sus animales; protección para la pradera, suelo y agua; frutos y hongos; o, un uso combinado de estos, lo cual se puede obtener con una opción agroforesta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experiencias en Veracruz. La sierra de Zongolica, ubicada en el centro de Veracruz, es una región montañosa donde sus habitantes, de origen nahua, han desarrollado sistemas de manejo diversificado para aprovechar las condiciones accidentadas del terreno y el tamaño reducido de sus parcelas. En estos sistemas agroforestales tradicionales los árboles de encino (*Quercus* spp.) son parte importante y son manejados de forma intensiva para producir carbón y leña. Al igual que en otras regiones de México y del mundo, la demanda y consumo de carbón vegetal está aumentando en las ciudades, principalmente para su uso en restaurantes. Hay un creciente interés a nivel internacional por determinar el efecto del uso de combustibles de origen vegetal.

Marines de la Peña et al., (2022). Observaron respuesta exitosa en establecimiento de Sistemas silvopastoriles enriquecidos (SSPE) para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. En donde la producción de forraje incrementó en la estación lluviosa como en la estación seca del año, exhibiendo una clara diferencia con los potreros vecinos. La mayor producción de forraje se traduce en menor gasto en alimento balanceado o forraje en la estación de seca. Según la precepción del dueño del terreno, a partir de la implementación del SSPE la condición corporal del ganado, y reflejada en una disminución del tiempo de crianza, desde el parto hasta el destete, y en un aumento general de la producción de leche. Asimismo, la cantidad

de medicamentos suministrados al ganado también disminuyó. De manera general, la implementación del SSPE involucra un menor uso de garrapaticidas.

Marines de la Peña et al., (2022). Observaron respuesta exitosa en establecimiento de Sistemas silvopastoriles enriquecidos (SSPE) para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. En donde la producción de forraje incrementó en la estación lluviosa como en la estación seca del año, exhibiendo una clara diferencia con los potreros vecinos. La mayor producción de forraje se traduce en menor gasto en alimento balanceado o forraje en la estación de seca. Según la precepción del dueño del terreno, a partir de la implementación del SSPE la condición corporal del ganado, y reflejada en una disminución del tiempo de crianza, desde el parto hasta el destete, y en un aumento general de la producción de leche. Asimismo, la cantidad de medicamentos suministrados al ganado también disminuyó. De manera general, la implementación del SSPE involucra un menor uso de garrapaticidas.

Jiménez-Trujillo et al.,(2026) Evaluaron un SSP la asociación de mango ataulfo con ovinos ha contribuido a que se obtengan mayores ingresos por la venta de dos productos en una misma unidad de producción, logrando así que exista un menor riesgo económico y una mejor calidad de vida para el productor. El manejo del estiércol de los ovinos ha generado la producción de abonos orgánicos (acido húmico y Bocashi) lo cual ha contribuido a una disminución total en los costos correspondientes a la compra de abonos. El asocio de árboles de mango ataulfo más ovinos ha contribuido a mejorar el paisaje local del rancho, dando un ambiente más saludable y cordial, tanto para los componentes como para los trabajadores y propietarios del rancho. Existen callejón con pasto estrella (Cynodon nlemfluensis) + pasto jaragua (Hyparrhenia rufa), donde es manejado bajo pastoreo con ovinos.

Grande et al., (2013) reportan que el estado de Tabasco, caso municipio de Macuspana, se utilizan con éxito sistemas silvopastoriles particularmente los cercos vivos y los árboles dispersos en potreros que son conocidos por los ganaderos con conocimiento tradicional o empírico de las especies arbóreas, que incluye aspectos como su establecimiento o reproducción y tienen una amplia distribución en el estado de Tabasco; actualmente muchos productores obtienen de ellos diversos beneficios para sus explotaciones y para el ganado, los componentes y algunas interacciones importantes en el sistema (por ejemplo el manejo de los árboles, de los animales en pastoreo y de los pastos).Por otra parte, algunos SSP tienen actualmente un gran potencial para su mejora y desarrollo en el estado; Tabasco presenta grandes posibilidades para la siembra, evaluación y promoción de diversas especies arbóreas nativas e introducidas que mejoren o enriquezcan los SSP ya practicados o conocidos por los productores, y también para la implementación de SSP “modernos” o “mejorados”, particularmente los bancos de proteína y los sistemas

silvopastoriles intensivos o de alta densidad arbórea; tal es el caso de especies forrajeras como la morera, tulipán, moté, cocoíte, guácimo, “pata” o casco de vaca (Bauhinia spp.), albizia (Albizia lebbeck), ramón (Brosimum alicastrum), leucaena y chipilcoi (Diphysa robinioides), cuyo potencial para la producción de biomasa.

CONCLUSIONES

Para el diseño de los SSP, se debe tomar en cuenta cada sitio o terreno, pues un predio tiene una aptitud productiva propia, que permite definir su adecuado uso productivo. Estos usos son agrícolas, ganaderos, forestales y de protección de acuerdo a las características físicas y químicas de los suelos y a las condiciones climáticas del lugar, considerando la topografía y la exposición del terreno, la fertilidad, profundidad y pH de los suelos, y parámetros del clima, como precipitación, temperaturas máximas y mínimas, viento, heladas y humedad ambiental, principalmente.

La expansión de prácticas productivas no sustentables, como la ganadería extensiva, la agricultura itinerante, los desmontes y la deforestación para el establecimiento de pastizales, ha generado importantes procesos de degradación del suelo y pérdida de la cobertura vegetal en diversas regiones de México y Latinoamérica, alterando los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos y contribuyendo al cambio climático. Frente a este panorama, los Sistemas Silvopastoriles representan una estrategia viable para transitar hacia modelos de ganadería sustentable, al integrar árboles, arbustos y pasturas que favorecen la recuperación de los ecosistemas, la conservación de la biodiversidad, el uso eficiente de los recursos naturales y el incremento de la productividad pecuaria. En este sentido, su implementación en las zonas degradadas del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec constituye una alternativa pertinente para restaurar la funcionalidad ecológica de los paisajes ganaderos, mejorar el bienestar animal y fortalecer la sostenibilidad ambiental y socioeconómica de las comunidades rurales vinculadas a esta actividad.

REFERENCIAS

Alerta Chiapas. 2026. Ganadería extensiva, el.com/2026/05/29/ganaderia-extensiva-el- cáncer ambiental en Chiapas. Recuperado de: https://alertachiapas cancer-ambiental-en-chiapas/

Arciniegas-Torres S P, y Flórez-Delgado D F. 2018. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. Ciencia y Agricultura, vol. 15, núm. 2, pp. 107-116, 2018. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Arciniegas-Torres S P, y Flórez-Delgado D F. 2018. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. Ciencia y Agricultura, vol. 15, núm. 2, pp. 107-116, 2018. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Benavides, J., & Ibrahim, M. (2007). *Experiencias de Costa Rica en pagos por servicios ambientales*. Este texto documenta cómo los incentivos económicos han impulsado a los productores a adoptar SSP, mejorando el uso de la tierra.

Caballero D M. 2022. Metamorfosis de la política forestal mexicana contemporánea y su impacto en el sector forestal. *Revista mexicana de ciencias forestales.* DOI: 10.29298/rmcf.v13i73.1249.

Calle, Z., Murgueitio, E., & Chará, J. (2012). *Integración de la biodiversidad en los sistemas ganaderos colombianos*. En este estudio se evalúa la experiencia colombiana, donde la inclusión de árboles dispersos ha logrado reconvertir fincas tradicionales en espacios que proveen hábitats de alta calidad para la biodiversidad.

Castro H J M, y Estévez S D S, 2021. caracterización espacial de arreglos agroforestales en cuatro paisajes agrícolas del trópico alto, cundinamarca – colombia. universidad de ciencias aplicadas y ambientales u.d.c.a. facultad de ciencias agropecuarias. programa de ingeníera agronómica bogota d.c 2021

Corporación colombiana de investigación agropecuaria AGROSAVIA, 2026. Sistemas silvopastoriles una alternativa para nutrir su ganado y proteger el medio ambiente. Recuperado de: https://www.agrosavia.co/noticias/sistemas-silvopastoriles-una-alternativa-para-nutrir-su-ganado-y-proteger-el-medio-ambiente.

Cubbage F, Balmelli G, Bussoni A, Noellemeyer E, Pachas AN, Fassola H (2012) Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. Agroforestry Systems 86: 303-314.

Escobar, B., Hernandez, B., & Giraldo, L. A. (2001). destacan que “la cubierta arbórea permite al animal mantener sus constantes fisiológicas más cerca de la normalidad. Esto evita que el ganado invierta energía excesiva en la termorregulación y protege su productividad frente a condiciones climáticas adversas, evidenciando cambios positivos en los parámetros de confort animal”. Al respecto Murgueitio et al., (2011) los árboles mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de capturar carbono.

Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of

Gerlin M. López y Erick S. Arellanos. 2022. Diversidad arbótea en sistemas cafetaleros en la provincia de Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Revista Pakamuros, Volumen 10, Número 4, Octubre-Diciembre, 2022, páginas 82-93

Grande C D, Maldonado G N M, Villanueva L G, y Hernández D S. (2013). Los sistemas silvopastoriles en Tabasco. Una opción para desarrollar una ganadería productiva y amigable con la naturaleza. 1. Sistemas agroforestales – México \ 2. Agroforestería – México I. TITULO II. AUTORES III. SERIEL.C. S494.5 .A45 S57 2013Primera edición, 2013D.R. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco . ISBN: 978-607-606-132-9. Recuperado de: https://pcientificas.ujat.mx/pcientificas/catalog/view/33/28/120

Hedge R. 2014. Agroforestry and ecosystem services. En: Raj & Lal. Agroforestry theory and practices. India: SCIENTIFIC PUBLISHERS; p. 1-33.

https://bosquedeniebla.com.mx/wp-content/uploads/2021/12/1%20Los%20

Instituto Forestal Centro Agroforestal Patagónico 2009. Manual de establecimiento y manejo de sistemas silvopastorales en zonas patagonicas de chile. Recuperado; de:https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/17534/25243.pdf;jsessionid =8BC5ECDEC998B089A022467D4096FC5B?sequence=1

Alonso J (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 45, Número 2, 2011. 107 45 Aniversario.

Sáenz-Ceja J E, Sáenz-Reyes T, Muñoz-Flores H J, Agustín Rueda-Sánchez, Castillo-Reyes F, y Castillo-Quiroz D. (2022). Áreas potenciales para establecer sistemas silvopastoriles con *Pinus lawsonii* y dos forrajes en Michoacán, México. Ecosistemas y recursos agropecuarios vol.9 no.3 Villahermosa sep./dic. 2022 Epub 03-Dic-2022.

Jiménez-Trujillo, J A.; Ibrahim, M , Jiménez-Espinosa, A. 2026. Estudio de caso en el rancho Buenavilla, Chiapas, México: Una opción silvopastoril para la ganadería del trópico, cría y reproducción de ovinos en asocio con cultivo de Mango ataulfo (Mangifera indica). Recuperado de:
.ttps://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7793/Estudio_de_caso.pdf?sequence=2 &isAllowed=y

Kunst C, Navall M, Ledesma R, Silberman J, Anríquez A, Coria D (2016) Silvopastoral systems in the western Chaco region, Argentina. En: Peri PL, Dube F, Varella A (ed) Silvopastoral systems in southern South America. Springer. Basel, Suiza. pp: 63-87.

Leakey R. 2014. The role of trees in agroecology and sustainable agriculture in the tropics. Annual Review of Phytopathology 52:113-133.

Liliana Mahecha (2003) Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. Rev Col Cienc Pec Vol. 16: 1, 2003 11

Maldonado M N. Grande D J, Fuentes E E , Hernández S, Pérez-Gil F y Armando Gómez A. 2008. Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco. Zootecnia Trop. v.26 n.3 Maracay sep. 2008

Maldonado M N. Grande D J, Fuentes E E , Hernández S, Pérez-Gil F y Armando Gómez A. 2008. Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco. Zootecnia Trop. v.26 n.3 Maracay sep. 2008

Maldonado M N. Grande D J, Fuentes E E , Hernández S, Pérez-Gil F y Armando Gómez A. 2008. Los sistemas silvopastoriles de la región tropical húmeda de México: El caso de Tabasco. Zootecnia Trop. v.26 n.3 Maracay sep. 2008

Marines de la Peña D, Luz Ayestarán H L M,, Márquez T J F, Martínez F, Rivas A Patricia, Carrasco C V, Pérez C M N, Chang L F A, Martínez-Garza C. Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. Act. Bot. Mex no.129 Pátzcuaro 2022 Epub 31-Oct-2022

Mcadam J, Burgess P, Graves A, Rigueiro-Rodríguez A, Mosquera-Losada M. 2008. Classifications and functions of agroforestry systems in Europe. En: Rigueiro-Rodríguez A, MacAdam J, Mosquera-Losada M, Rosa M (Eds.). Agroforestry in Europe: Current status and future prospects. Springer.

Moreno Calles A I, Soto Pinto M L, Cariño Olvera M M, Palma García J M, Moctezuma Pérez S, Rosales Adame J J , Montañez Escalante P I , Sosa Fernández V de J, Ruenes Morales M del R, y López Martínez W..2021. Los Sis temas Agroforestales de México: Avances, experiencias, acciones y temas emergentes. Red Temática de Sistemas Agroforestales de México . (Red SAM)Recuperado de:

Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., y Casas, A. (2013b). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, *91*, 375-398.

Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., y Casas, A. (2013b). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, *91*, 375-398.

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Zimmer, A., & Ibrahim, M. (2014). *Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali Colombia. Tropical Grasslands V2, No. 1, Marzo 2014.

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Zimmer, A., & Ibrahim, M. (2014). *Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali Colombia. Tropical Grasslands V2, No. 1, Marzo 2014.

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Zimmer, A., & Ibrahim, M. (2014). *Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali Colombia. Tropical Grasslands V2, No. 1, Marzo 2014.

Nair PKR (2014) Agroforestry: Practices and systems. In: Van Alfen NK (ed) Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Vol.1. San Diego, California, E. U. pp: 270-282

Nair PKR (2014) Agroforestry: Practices and systems. In: Van Alfen NK (ed) Encyclopedia of Agriculture and Food Systems, Vol.1. San Diego, California, E. U. pp: 270-282

Ojeda PA, M. Restrepo, Z. Villada y C. Gallego (2003). Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sustentable de la Ganadería. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia: Fundación para la Investigación y Desarrollo Agrícola (FIDAR).

Paré L., Alatorre G. 1992. Descalabro ambiental del estado de Veracruz 01 / 1992. Foro de la Sociedad Civil para el Medio Ambiente y el Desarrollo en Veracruz. Xalapa, Ver., 25 de julio de 1992. Recuperado de: HTTPS://DPH.RITIMO.ORG/ES/FICHES/PREMIERDPH/FICHE-PREMIERDPH-86.HTML

Paré L., Alatorre G. 1992. Descalabro ambiental del estado de Veracruz 01 / 1992. Foro de la Sociedad Civil para el Medio Ambiente y el Desarrollo en Veracruz. Xalapa, Ver., 25 de julio de 1992. Recuperado de: HTTPS://DPH.RITIMO.ORG/ES/FICHES/PREMIERDPH/FICHE-PREMIERDPH-86.HTML

Paré L., Alatorre G. 1992. Descalabro ambiental del estado de Veracruz 01 / 1992. Foro de la Sociedad Civil para el Medio Ambiente y el Desarrollo en Veracruz. Xalapa, Ver., 25 de julio de 1992. Recuperado de: HTTPS://DPH.RITIMO.ORG/ES/FICHES/PREMIERDPH/FICHE-PREMIERDPH-86.HTML

Paredes R S y Montes G. L A. 2023. Comportamiento productivo de ovinos en sistema silvopastoril Tamarindo con pasto Tanzania versus Sacharina enriquecida. Congreso Internacional CIFCA 2023: Fortaleciendo la Investigación Académica en Veracruz. Red Iberoamericana de Academias de Investigación. ITUG. Úrsulo Galván, Ver.

Quinto L, P. A. Martínez–Hernández P.A., Pimentel–Bribiesca L, Rodríguez–Trejo D. A. 2009.Planeación de un sistema silvopastoril en ladera en Huatusco, Veracruz aplicando el método Nezahualcóyotl. Rev. Chapingo ser. cienc. for. ambient vol.15 no.2 Chapingo jul./dic Rev

Rusch G y Skarpe C. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. Agroforestería en las Américas Nº 47, 2009,

Rusch G y Skarpe C. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. Agroforestería en las Américas Nº 47, 2009,

Graciela Rusch G y Skarpe C. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. Agroforestería en las Américas Nº 47, 2009,

SAGARPA (México) (2012). "Cortinas Rompevientos" en Fichas Técnicas sobre Actividades del Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua (Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua, COUSSA). Sistemas%20Agroforestales%20de%20M%C3%A9xico-%20Avances,%20

Villanueva C, Casasola F, y Detlefsen G. 2018. Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica. Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza (CATIE).

PRODUCCIÓN DE CHILE HABANERO EN TRES CONDICIONES, MALLA SOMBRA AL 70%, 50% Y A CIELO ABIERTO

Roberto Panuncio Mora Solís[1]
Mercedes Muraira Soto[2]
Ana Victoria Ramírez Martínez[3]
Irani Monserrat Vargas García[4]
Adolfo Alaves Aragón[5]

RESUMEN

Se busca evaluar la rentabilidad y el comportamiento productivo del chile habanero (Capsicum chinese) en la región. En el Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan se implementó una práctica en el área agrícola titulada:" Producción de chile habanero en tres condiciones, malla sombra al 70%, al 50% y a cielo abierto". Para ello se establecieron dos macro túneles con las dimensiones de 30 metros de largo por 6 de ancho, mismas medidas que tendrán las camas a cielo abierto, implementando un diseño experimental de bloques completamente al azar. Esta zona caracterizada por su clima cálido húmedo y suelos fértiles, representando un entorno ideal para analizar los efectos de la radiación solar y la temperatura en el desarrollo del cultivo de chile habanero. Dado que el chile habanero es un cultivo de alto valor comercial, este estudio permite determinar la influencia de la malla sombra en el crecimiento, floración, fructificación y rendimiento, con el fin de proponer un manejo más rentable y sostenible para el cultivo en la región. Obteniendo como resultado que el tratamiento de malla sombra al 50% es la más adecuada para la producción de chile habanero ya que ofrece un rendimiento alto y frutos de buena calidad, optimizando la rentabilidad y sostenibilidad del sistema de producción para este cultivo. Con ello se busca introducir hortalizas de chile habanero en la región de la Cuenca del Papaloapan, dando a los productores nuevas alternativas de producción, de control de plagas y enfermedades en el cultivo de chile habanero.

Palabras claves: producción, habanero, malla sombra, rentabilidad, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

Los chiles son cultivados ampliamente en el mundo y son altamente apreciados por su sabor como especia y valor nutricional (Heuvelink & Kõrner, 2001). Por la diversidad de condiciones

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. robertopanuncio.ms@cpapaloapan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. mercedes.ms@cpapaloapan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. L21810098@cpapaloapan.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. L21800112@cpapaloapan.tecnm.mx
[5] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. Adolfo.aa@cpapaloapan.tecnm.mx

agroclimáticas, en México existe una gran variedad de chiles, entre los cuales destaca el chile habanero (Capsicum chinense Jacq.), el cual es un producto hortícola de suma importancia para el país como producto de consumo nacional y de exportación (Latournerie et al., 2002). El chile habanero es uno de los chiles más picantes que se conocen. Se cultiva principalmente en la península de Yucatán, por pequeños productores que venden la fruta en el mercado local o a procesadores locales (Cázares et al., 2005).

El chile habanero ha sido domesticado en la península de Yucatán y está fuertemente arraigado a la dieta regional de sus pobladores, consumiéndose tanto en fresco como en salsas. Todo ello le confiere a este cultivo un alto valor social, cultural y económico, no solo en esta región, sino en todo México (Santana et al., 2018). Es exportado en fresco a Canadá, Europa, Japón, Corea y Estados Unidos, donde se usa para mejorar el sabor picante de la comida. También es procesado por sus derivados, los cuales son utilizados en productos de legítima defensa (ej. gas pimienta) y para el tratamiento de dolor por neuropatías (Islas et al., 2005). Los únicos países exportadores son Belice y México (Perea, 2007). En el 2010se obtuvo la certificación de origen del chile habanero de la Península de Yucatán, siendo el estado de Yucatán el principal productor nacional (Borges et al., 2014

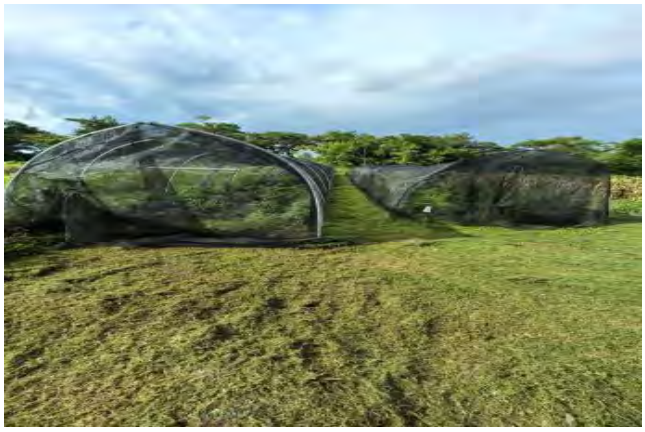
La malla sombra se usa en países tropicales y subtropicales en numerosos cultivos hortícolas para protegerlos de la radiación excesiva, del viento, granizo y pájaros; así mismo, tienen influencia en el crecimiento de las plantas por reducir la intensidad luminosa y modificar las condiciones micro climáticas. Los diferentes niveles de sombreo y de la calidad de la luz con el uso de mallas sombra de diferentes colores, pueden alterar la morfología y los procesos fisiológicos y bioquímicos, así como el contenido y tipo de metabolitos secundarios en las plantas (Mahmood et al., 2018).

Desarrollar el cultivo de chile habanero resolviendo las problemáticas como el calor extremo, lluvias en exceso, aparición de enfermedades y plagas en la planta, impidiendo el correcto crecimiento y desarrollo tanto en planta como en el fruto. Con este proyecto se pretende introducir la hortaliza de chile habanero en la región de la Cuenca del Papaloapan.

El proyecto se llevó a cabo en el ejido de San Bartolo, realizando el manejo agronómico para la evaluación del control de plagas, hongos, así como en el rendimiento del chile habanero en las tres condiciones, malla sombra al 70%, al 50% y a cielo abierto. Esto con el fin de observar y analizar los costos de producción presentando las mejores alternativas sobre el manejo agronómico del chile habanero a los productores de la región.

METODOLOGÍA

El proyecto de investigación se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, en avenida Tecnológico No. 21, en San Bartolo Tuxtepec Oaxaca, México. Durante el periodo comprendido de julio a noviembre 2025, cuyas coordenadas son latitud norte 18° 5'21.97"N y longitud oeste 96° 5'54.60"O, el cual se encuentra ubicado a 29 msnm, se localiza en la vertiente del golfo de México, condiciones que determina un clima cálido y húmedo con temperaturas general que van desde 17 °C a 37 °C, y con un promedio de precipitación anual de 1520 mm. Se utilizo un diseño experimental completamente al zar con tres tratamientos y 20 repeticiones



Debido a las fechas de inicio del proyecto, este se llevó a cabo durante la temporada de lluvias en el área seleccionada. Se detectó una gran variedad de maleza, por lo que se realizó la limpieza manual y con desbrozadora para dejar el área en buenas condiciones y poder seguir con las actividades programadas. Se realizo la desinfección de las 5 charolas, se hace una solución de hipoclorito a un 3% con agua, dejándolas reposar y sumergir completamente por 24 horas, pasadas las horas correspondientes, después se sacan a escurrir estas charolas y por último son rociadas por alcohol al 75% y se ponen a secar al sol.



Las semillas se sumergieron en agua durante 24 horas. Luego, se preparó una mezcla de composta de fibra de coco y cachaza a un 50%, y se llenaron las cinco charolas de 200 cavidades cada una. Se colocaron las semillas de chile habanero a una profundidad de 6 a 10mm en cada cavidad. Las charolas se humedecieron y se cubrieron con bolsas negras durante 5 días para promover la germinación.



A los 5 días las semillas ya habían germinado teniendo un 90% de germinación

Las seis camas de siembra tienen una dimensión de 30 metros de largo por 80 centímetros de ancho por 20 centímetros de alto. Dos de ellas estarán cubiertas en malla sombra al 50% y 70% en diseño de macro túnel, respectivamente, mientras que la tercera estará a cielo abierto.

Para la instalación del sistema de riego, se conectó la cintilla a la fuente de suministro de agua utilizando conectores adecuados. Las cintillas se colocaron a una distancia de 30 metros de largo con un espaciamiento de 80 centímetros entre ellas. El riego se realizó durante una hora cada tercer día, ajustándose según las condiciones climáticas presentes durante el día o la noche.

Se realizó el trasplante a los 50 días con destino a su lecho o cama de siembra y a los macro túneles. Previamente, las plántulas se sumergieron en una solución preparada de Micorrizas y Raizal 400 para apoyar el desarrollo de la raíz. Las plántulas destinadas a cielo abierto se sumergieron en Maya Magic y Raizal 400, se trasplantaron a una profundidad de 10 centímetros y una distancia de 40 centímetros entre plantas.

RESULTADOS

Tabla 1. ANOVA número de frutos.

	GL	SC	CM	F	SIG.
TRATAMIENTOS	2	428.133	217.067	8.012	0.001
ERROR	57	1522.850	26.717		
TOTAL	59	1950.983			

Tabla 2. Análisis de medias por método de tukey al 0.05%.

		Subconjunto para alfa = 0.05	
Tratamientos	N	1	2
Cielo abierto	20	2.7500	
Malla 70%	20		7.8500
Malla 50%	20		8.8500
Sig.		1.000	.81

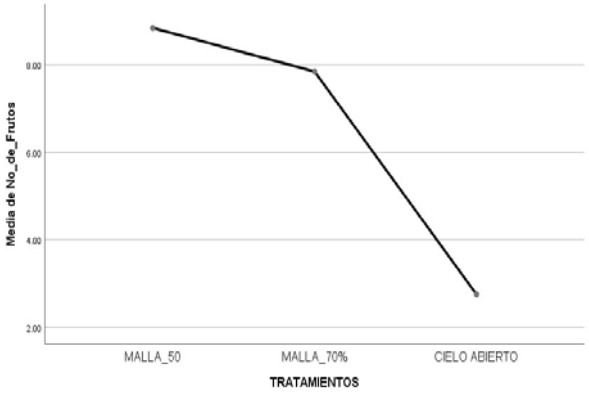
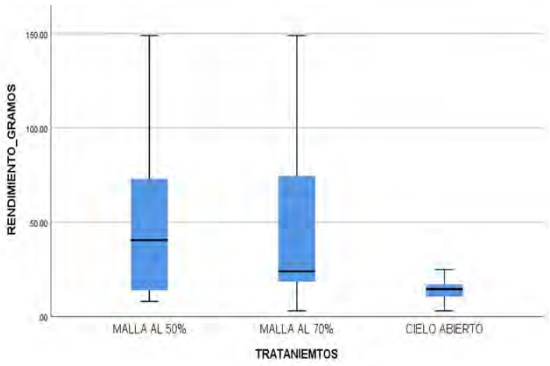


Tabla 3. ANOVA rendimiento de fruto en gramos.

	GL	SC	CM	F	SIG.
TRATAMIENTOS	2	17122.633	8561.317	6.795	0.002
ERROR	57	71819.300	1259.988		
TOTAL	59	88941.933			

Tabla 4. Análisis de medias por método de tukey al 0.05%.

TRATAMIENTOS	N	1	2
CIELO ABIERTO	20	14.1500	
MALLA AL 70%	20		48.2500
MALLA AL 50%	20		51.5000
Sig.		1.000	.955



En la producción de nuestro cultivo de chile habanero de malla sombra al 70% al 50 %y a cielo abierto. Muestran diferencias significativas en el desarrollo y rendimiento del chile habanero cultivado bajo distintas condiciones de sombra. Se muestra que el nivel de radiación solar influye significativamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo. Observamos que a cielo abierto las plantas presentaron mayor exposición a la radiación solar y al estrés térmico durante los primeros dos meses, lo que ocasionó algunas perdidas. Las plántulas que estuvieron bajo el tratamiento de malla sombra al 70% presentaron mayor problemática con las plagas y enfermedades bacterianas, debido al exceso de humedad. Las plántulas que estuvieron bajo el tratamiento de malla sombra al 50%

mostraron un mayor crecimiento, y producción del fruto, ya que tuvieron una reducción por estrés térmico y por la radiación, lo que conlleva a una disminución de humedad. Durante los días lluviosos, los tratamientos bajo malla sombra mostraron mejor comportamiento, ya que la estructura proporcionó protección frente al exceso de agua y viento, reduciendo el impacto directo de la lluvia sobre las plantas y el suelo. Esto ayudó a conservar la estructura del sustrato y prevenir el encharcamiento, algunas plantas presentaron problemas de pudrición. En las plantas a cielo abierto no presentaron problemas de pudrición de raíces y caída de flores por exceso de humedad.

REFERENCIAS

Bernal, C. R. (10 de abril de 2020). *Conociendo al enemigo: ácaro blanco.* Obtenido de Agro Excelencia: https://agroexcelencia.com/conociendo-al-enemigo-el- acaro-blanco/

Dominique. (1 de mayo de 2023). *Descubre la definición del cultivo a cielo abierto: ventajas y desventajas*. Obtenido de Fincas Paradise: https://fincasparadis.com/cultivo-a-cielo-abierto-definicion/

Fideicomiso de Riesgo Compartido. (31 de mayo de 2017). *Chile Habanero, con Denominación de Origen*. Obtenido de Gob.mx: https://www.gob.mx/firco/articulos/chile-habanero-con-denominacion-de- origen?idiom=es

FIDEPRODEFO. (2020). *FIDEPRODEFO*. Recuperado el 28 de agosto de 2025, de FIDEPRODEFO: https://geoportal.fiprodefo.gob.mx/pofmet/gpfu/plagas/tetranychus-urticae/

hydrocultura. (30 de octubre de 2024). *El Picante Mundo del Chile Habanero en México: Una Guía para su Producción*. Obtenido de Hydrocultura noticias: https://hydrocultura.com/blogs/noticias-agricultura-mexico/el-picante-mundo-del-chile-habanero-en-mexico-una-guia-parasuproduccion#:~:text=M%C3%A9todos%20de%20Cultivo%20Tradicional%20a%20cielo%20abierto:,de%20plagas%2C%20enfermedades%20y%20cambios%20cli

INTAGRI. (2017). *Mallas de colores en la producción hortícola*. Obtenido de Serie Horticultura Protegida: https://www.intagri.com/articulos/horticultura- protegida/mallas-de-colores-en-la-produccion-horticola

INTAGRI, E. E. (2021). *INTAGRI S.C.* Obtenido de El Ácaro Blanco Polyphagotarsonemus latus: https://www.intagri.com/articulos/nutricion- vegetal/acaro-blanco-polyphagotarsonemus-latus

Koppert. (2021). Moscas blancas. *Koppert España*. Recuperado el 28 de agosto de 2025, de Koppert: https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/moscas-blancas/

Loera Hernández, M. (Septiembre de 2022). *CULTIVO AEROPÓNICO DE CHILE HABANERO (Capsicum chinense) CON LUZ LED Y EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE MgFe2O4.* Obtenido de Rinacional: https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/4778/1/tesis%20Maria%20del%20Carmen%20De%20Loera%20Hernandeztermianda.pdf

Ortiz. (Mayo de 2021). *Crecimiento, rendimiento y calidad de chile habanero (Capsicum Chinense Jacq.) bajo condiciones de malla sombra de colores.* Obtenido de Repositorio Chapingo https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/3dc08285-07c2-4c41-a73e-c75cc017d242/content

Prado , G. (Septiembre de 2006). *Tecnología de producción comercial de chile habanero (Capsicum Chinese Jacq).* Obtenido de Manual de Chile Habanero: https://drive.google.com/file/d/0B8ZFw3OAQ0JfTEk0OGZQcTJUbjA/view?resourcekey=0-8DXdRrKNFM7Q8Xe2pqTluQ

Rangel, L. (Julio de 2016). *Crecimiento de chile habanero (Capsicum Chinense Jacq.) Bajo diferente espaciamiento entre hileras en la Comarca Lagunera.* Obtenido de Repositorio UAAAN: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42420/LUCIA%20RANGEL%20CAMPOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=.%2C%202006).-,2.10%20Crecimiento,cultivo%20(Mar%C3%ADn%2C%201986).

Rodríguez Buenfil, D. M. (30 de junio de 2020). *Metabolómica y cultivo del chile habanero (Capsicum chinense Jacq) de la península de Yucatán.* Obtenido de Ciatej: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f05dd8bb2e1a.pdf

Ruiz et al. (Julio de 2011). *El chile habanero: su origen y usos.* Obtenido de Revista ciencia: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/62_3/PDF/Habanero.pd

Sánchez, et al. (10 de Enero de 2025). Evaluación de la producción de chile habanero a cielo abierto y en macrotunel. Tuxtepec, Oaxaca, México.

Santoyo, J. (9 de mayo de 2011). *El chile habanero: Una excelente oportunidad para los productores.* Obtenido de Fundación Produce Sinaloa : https://www.fps.org.mx/portal/index.php/notas/1002-el-chile-habanero-una-excelenteoportunidad-para-los-productores#:~:text=Por%20ello%2C%20es%20de%20vital%20importancia%20buscar,caracter%C3%ADsticas%20superiores%20a%20las%20de%20cam po%20abierto.

Villa, et al. (diciembre de 2014). *Producción hidropónica de chile habanero en invernadero.* Obtenido de Cenid INIFAP: http://cenid-raspa.inifap.gob.mx/demo/modulo/Folletos%20tecnicos/2014/34_Producci%C3%B3n%20hidroponica%20de%20chile%20Habanero%20en.pdf

Wherther, J. (19 de febrero de 2015). *Araña roja - Tetranychus urticae.* Obtenido de Panorama Agro: https://panorama-agro.com/?p=669

INNOVACIÓN PRODUCTIVA MEDIANTE ENERGÍA SOLAR EN MICROEMPRESAS DE ALVARADO, VERACRUZ: ANÁLISIS DE ACEPTACIÓN Y COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

María del Carmen de Jesús González Martínez[1]
Guadalupe Santillán Ferreira[2]
Angélica del Carmen López Toto[3]
Oscar Luis Peña Valerio[4]

RESUMEN

Los resultados obtenidos del proyecto: "Análisis de sistemas para la sostenibilidad empresarial en Alvarado, Ver". Se analizó la innovación productiva mediante la adopción de energía solar en microempresas de Alvarado; Veracruz, para determinar su relación con la competitividad empresarial a partir de la percepción de los empresarios locales. Empleándose un enfoque de análisis con diseño descriptivo-cuantitativo y aplicando una encuesta estructurada a microempresas de los sectores hotelero, de servicios, comercial y manufactura en Alvarado. Se evaluó conocimiento sobre energía solar y aceptación para su uso, y percepción sobre la relación costo-beneficio a largo plazo. Encontrándose conocimiento limitado sobre la tecnología solar, pero aceptación superior al 70% cuando se explica el ahorro operativo a mediano plazo. Los empresarios señalan que el costo inicial es la principal barrera, aunque reconocen que, la energía solar puede funcionar como estrategia de innovación productiva reduciendo costos. Se requieren acciones sistémicas de capacitación y acceso a financiamiento para consolidarla como ventaja competitiva local. IRENA (2021), “las tecnologías de energía renovable son un motor clave de innovación y creación de valor en las pequeñas y medianas empresas, al reducir costos operativos y aumentar su resiliencia” (p. 18).

Palabras claves: Energía solar, Microempresas, Competitividad empresarial, Innovación productiva

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el crecimiento de la demanda energética y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado una transición mundial hacia fuentes de energía renovable (International Energy Agency, 2024).

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. maria.gm@alvarado.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. guadalupe.sf@alvarado.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. angelica.lt@alvarado.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Alvarado. oscar.pv@alvarado.tecnm.mx

La energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías con mayor crecimiento debido a la reducción de sus costos y al incremento de su eficiencia (International Renewable Energy Agency, 2024). En este contexto, la energía solar representa una alternativa tecnológica capaz de reducir costos operativos y fortalecer la sostenibilidad empresarial. Sin embargo, su adopción continúa siendo limitada debido a factores económicos, tecnológicos y sociales.

México posee uno de los mayores potenciales de generación solar debido a sus elevados niveles de radiación en gran parte del territorio nacional (Secretaría de Energía, 2024).

Las microempresas representan la mayor parte de las unidades económicas del país y constituyen un componente fundamental para la generación de empleo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2024).

La incorporación de energías renovables contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 7 y el ODS 13 (United Nations, 2015).

El presente estudio analiza la percepción, aceptación y disposición hacia la implementación de sistemas fotovoltaicos en microempresas del municipio de Alvarado, Veracruz, con el propósito de identificar los factores que favorecen o limitan su adopción como estrategia de innovación productiva entre las que se encuentra la energía solar que se ha posicionado como una de las opciones más viables para reducir costos operativos, mitigar la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir la huella ambiental de las organizaciones.

En el contexto local, las microempresas constituyen un pilar fundamental para la economía de Alvarado, Veracruz, al ser motores clave en la generación de empleo y en la dinamización de las actividades comerciales y de servicios. Pese a su importancia, este sector enfrenta serios desafíos financieros derivados del constante incremento en las tarifas eléctricas; una situación que compromete directamente su rentabilidad y capacidad competitiva en el mercado.

Ante este panorama, la incorporación de sistemas fotovoltaicos se presenta como una estrategia de innovación productiva capaz de optimizar recursos económicos y fortalecer la identidad corporativa de las empresas hacia la sustentabilidad. Sin embargo, la transición efectiva hacia esta tecnología no es automática, ya que está fuertemente condicionada por el nivel de conocimiento de los usuarios, su percepción sobre el retorno de inversión y el acceso a opciones viables de financiamiento. Con ello, se busca identificar las principales oportunidades y barreras que influyen en su implementación, aportando datos clave para promover soluciones que impulsen la competitividad empresarial en la región.

Desde la perspectiva de la innovación, la adopción de nuevas tecnologías constituye un elemento clave para incrementar la competitividad de las organizaciones (Organisation for Economic Co-operation and Development & European Commission, 2018).

FUNDAMENTO TEÓRICO

Innovación Productiva

La innovación productiva constituye uno de los principales mecanismos mediante los cuales las organizaciones incrementan su competitividad y capacidad de adaptación frente a los cambios tecnológicos, económicos y ambientales. El Manual de Oslo define la innovación como la implementación de un producto, proceso o método organizacional nuevo o significativamente mejorado que genera valor para la organización y para la sociedad (OECD & Eurostat, 2018).

En el caso de las microempresas, la innovación productiva permite optimizar recursos, incrementar la eficiencia operativa y mejorar la calidad de los bienes o servicios mediante la incorporación de nuevas tecnologías. Diversos estudios indican que las empresas que desarrollan procesos permanentes de innovación presentan mayor resiliencia, crecimiento económico y capacidad para competir en mercados dinámicos (World Bank, 2020).

La transición hacia tecnologías energéticas sostenibles representa actualmente una de las formas de innovación con mayor impacto sobre la productividad empresarial, ya que permite reducir costos operativos, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la sostenibilidad de las organizaciones (OECD, 2023).

La energía solar como estrategia de innovación

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento acelerado durante la última década debido a la disminución del costo de los paneles solares, el incremento de su eficiencia y el desarrollo de sistemas de generación distribuida. Según la International Energy Agency (2024), la energía solar es actualmente la fuente renovable con mayor expansión a nivel mundial y representa una tecnología clave para alcanzar los objetivos internacionales de reducción de emisiones.

La energía solar es una fuente renovable que aprovecha la radiación del sol para producir energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos. Su utilización contribuye a la disminución de los costos energéticos y al fortalecimiento de la sostenibilidad en las organizaciones. Asimismo, la implementación de tecnologías solares favorece la innovación tecnológica y la eficiencia energética en diversos sectores productivos (Canales-Obeso et al., 2025).

De igual forma, las celdas fotovoltaicas representan una alternativa viable para las empresas debido a los beneficios económicos y ambientales que generan, permitiendo reducir gastos operativos y mejorar la rentabilidad a largo plazo (López-López et al., 2022).

De acuerdo con la International Renewable Energy Agency (2021), las energías renovables constituyen un motor de innovación y creación de valor para las pequeñas y medianas empresas, ya que permiten reducir costos operativos, mejorar la resiliencia organizacional y fortalecer la competitividad en mercados cada vez más orientados hacia la sostenibilidad.

La International Renewable Energy Agency (2024) señala que el costo promedio de generación mediante sistemas fotovoltaicos continúa disminuyendo, mientras que la capacidad instalada mundial supera ya los dos teravatios, consolidando a esta tecnología como una de las alternativas energéticas más competitivas.

En México, la Secretaría de Energía (2024) reconoce que el país posee uno de los mayores potenciales solares del continente americano debido a sus elevados niveles de irradiación, situación que favorece la adopción de sistemas fotovoltaicos tanto en viviendas como en pequeñas empresas.

Microempresas

Las microempresas constituyen una parte fundamental del tejido económico local debido a su contribución en la generación de empleo y el desarrollo regional. Sin embargo, enfrentan limitaciones relacionadas con recursos financieros y tecnológicos, lo que hace necesario promover estrategias innovadoras que favorezcan su crecimiento sostenible (Vásquez González, 2025).

Asimismo, la adopción de tecnologías y proyectos de transición energética puede fortalecer la capacidad de las microempresas para mejorar su desempeño económico y ambiental, incrementando sus posibilidades de permanencia en mercados competitivos (Zúñiga Puente & Zúñiga Gámez, 2021).

Desarrollo sostenible y transición energética

La Agenda 2030 reconoce que el acceso a energía limpia constituye uno de los elementos esenciales para alcanzar un desarrollo sostenible. En particular, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 promueve el acceso universal a energía asequible y no contaminante, mientras que el Objetivo 13 impulsa acciones dirigidas a combatir el cambio climático (United Nations, 2015).

La transición energética implica sustituir progresivamente los sistemas tradicionales de generación eléctrica por tecnologías renovables que reduzcan las emisiones contaminantes sin afectar el crecimiento económico. La International Energy Agency (2024) considera que esta transformación representa una oportunidad para incrementar la seguridad energética, promover la innovación tecnológica y estimular nuevas inversiones.

Competitividad empresarial

La competitividad empresarial se refiere a la capacidad de una organización para mantener ventajas frente a sus competidores mediante la productividad, la innovación y la mejora continua de sus procesos. En este sentido, la incorporación de tecnologías emergentes y herramientas de la Industria 4.0 contribuye significativamente al fortalecimiento de la competitividad de las micro y pequeñas empresas (Hernández Peralta et al., 2021).

Por otra parte, la competitividad también está relacionada con factores internos como la capacidad de gestión, la eficiencia operativa y la innovación, elementos que favorecen la supervivencia y crecimiento de las empresas en el largo plazo (Peña Poot, 2019).

La competitividad empresarial depende de la capacidad de las organizaciones para utilizar eficientemente sus recursos y generar ventajas sostenibles frente a sus competidores. Actualmente, uno de los factores que mayor influencia tiene sobre la competitividad es la eficiencia energética, ya que los costos asociados al consumo de electricidad representan una parte importante de los gastos operativos de las microempresas (World Economic Forum, 2023).

La incorporación de tecnologías de energía renovable permite disminuir dichos costos, reducir la dependencia de combustibles fósiles y fortalecer la imagen ambiental de las organizaciones. Estudios recientes muestran que las empresas que invierten en tecnologías limpias presentan incrementos en productividad, reducción de gastos operativos y mayor aceptación por parte de consumidores interesados en prácticas sostenibles (IEA, 2024).

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo.

Enfoque y diseño de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que buscó medir y analizar la percepción de los propietarios de microempresas respecto a la implementación de sistemas de energía solar como estrategia de innovación productiva. El enfoque cuantitativo permitió obtener información objetiva mediante la aplicación de un instrumento estructurado y analizar los datos a través de procedimientos estadísticos descriptivos (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018).

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que las variables fueron observadas en su contexto natural sin manipulación alguna. Asimismo, corresponde a un estudio de tipo transversal, ya que la información fue recopilada en un único momento durante el periodo de aplicación del instrumento, y de alcance descriptivo, porque permitió caracterizar el nivel de conocimiento, aceptación y disposición de las microempresas hacia el uso de energía solar (Hernández Sampieri & Mendoza,

2018), permitiendo analizar la percepción, la aceptación y la disposición de los negocios de Alvarado, Veracruz, respecto al uso de energía solar en un momento determinado respecto al uso de energía solar.

Área de estudio

La investigación se realizó en el municipio de Alvarado, Veracruz, México, localidad cuya actividad económica se concentra principalmente en el sector comercio y servicios. Este municipio presenta condiciones favorables para el aprovechamiento de la energía solar debido a su ubicación geográfica y niveles de radiación solar, lo que convierte a los sistemas fotovoltaicos en una alternativa viable para disminuir los costos energéticos de las unidades económicas.

Población y muestra

La población de estudio estuvo integrada por propietarios, administradores o responsables de micro y pequeños negocios pertenecientes a los sectores comercial y de servicios ubicados en el municipio de Alvarado, Veracruz.

La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad y accesibilidad de los propietarios durante el periodo de levantamiento de la información. Este tipo de muestreo es ampliamente utilizado en estudios exploratorios y descriptivos cuando no es posible acceder al total de la población o cuando el objetivo principal consiste en identificar tendencias generales (Etikan et al., 2016). La muestra fue de 48 microempresas.

Instrumento de recolección de datos

. Para la obtención de la información se diseñó y aplicó el instrumento denominado:

"Instrumento de evaluación para medir la percepción, aceptación y disposición al uso de energía solar en negocios de Alvarado, Veracruz".

La mayoría de los reactivos utilizaron una escala tipo Likert de cinco niveles para medir el grado de acuerdo de los participantes respecto a diferentes afirmaciones relacionadas con la innovación productiva y la energía solar.

El cuestionario estuvo estructurado en cuatro dimensiones:

Información:	Percepción	Aceptación:	Disposición
Evaluó el nivel de conocimiento que poseen los empresarios sobre la energía solar, sus aplicaciones y beneficios.	Identificó las opiniones y creencias respecto a los beneficios económicos, ambientales y operativos asociados con la implementación de sistemas fotovoltaicos.	Determinó el grado de aprobación de los empresarios hacia el uso de energía solar como alternativa energética para sus negocios.	Analizó la intención y voluntad de los participantes para invertir o implementar sistemas de energía solar en el corto o mediano plazo

El instrumento incluyó preguntas cerradas y escalas tipo Likert para medir el nivel de acuerdo de los participantes respecto a diversos aspectos relacionados con la adopción de energía solar.

Antes de su aplicación definitiva, el cuestionario fue revisado para verificar la claridad de las preguntas y la adecuada comprensión por parte de los participantes.

Procedimiento

El proceso de investigación se desarrolló en cinco etapas.

En la primera etapa se realizó una revisión documental sobre innovación productiva, competitividad empresarial, desarrollo sostenible y energía solar, con el propósito de construir el fundamento teórico del estudio.

Posteriormente se diseñó el cuestionario considerando las variables establecidas en los objetivos de investigación.

En una tercera etapa la recolección de información se realizó mediante la aplicación de un cuestionario digital elaborado en **Google Forms**. Previamente a la aplicación del instrumento, se estableció contacto con los propietarios, administradores o encargados de los negocios participantes, a quienes se les explicó el objetivo de la investigación, la importancia de su participación y el propósito de evaluar la percepción, aceptación y disposición hacia la adopción de energía solar en sus establecimientos.

Una vez proporcionada la información correspondiente y obtenido su consentimiento para participar, se compartió el enlace del formulario electrónico para que respondieran la encuesta de manera voluntaria. La aplicación se dirigió a negocios de los sectores comercial y de servicios ubicados en el municipio de Alvarado, Veracruz.

Posteriormente, las respuestas obtenidas a través de Google Forms fueron exportadas a una hoja de cálculo para su organización, codificación y análisis. Se empleó estadística descriptiva mediante

frecuencias y porcentajes para interpretar los resultados obtenidos en las dimensiones de información, percepción, aceptación y disposición.

se aplicaron las encuestas directamente a propietarios o responsables de las microempresas seleccionadas, explicando previamente el objetivo de la investigación y garantizando el carácter confidencial de la información proporcionada.

Una vez concluido el trabajo de campo, los datos fueron codificados y organizados en una base de datos para facilitar su procesamiento estadístico.

Finalmente, los resultados fueron analizados mediante técnicas de estadística descriptiva, empleando frecuencias absolutas, porcentajes y representaciones gráficas para identificar las principales tendencias observadas entre los participantes.

Análisis de datos

El análisis de la información se realizó mediante estadística descriptiva utilizando frecuencias, porcentajes y gráficos de distribución para interpretar las respuestas obtenidas.

Este tipo de análisis permitió identificar el nivel de conocimiento de los empresarios sobre la energía solar, los factores que limitan su adopción, la percepción de sus beneficios y la disposición de las microempresas para implementar tecnologías fotovoltaicas como estrategia de innovación productiva.

Consideraciones éticas

Se garantizó la confidencialidad y el anonimato de los participantes, informándoles que los datos recopilados serían utilizados únicamente con fines académicos y de investigación. La participación fue completamente voluntaria y las respuestas fueron tratadas de manera agregada, evitando la identificación individual de los negocios encuestados.

RESULTADOS OBTENIDOS

Caracterización de las microempresas participantes

La investigación se realizó con propietarios y responsables de microempresas del municipio de Alvarado, Veracruz, pertenecientes principalmente a los sectores comercial y de servicios, destacando restaurantes, tiendas de abarrotes y pequeños establecimientos dedicados a la venta de productos y servicios. La mayoría de los negocios participantes cuenta con una antigüedad de entre uno y tres años, lo que indica que se trata de empresas relativamente jóvenes que aún se encuentran en proceso de consolidación y crecimiento.

El perfil de los establecimientos encuestados resulta relevante debido a que estas actividades económicas presentan un consumo constante de energía eléctrica para la operación de equipos de refrigeración, iluminación, climatización y diversos procesos productivos. En consecuencia, cualquier

estrategia orientada a reducir los costos energéticos puede representar un beneficio importante para su desempeño económico.

Tabla 1. Características generales de la muestra

Variable	Resultado	Interpretación
Giro predominante	Restaurantes y pequeños comercios	Sectores con consumo constante de energía eléctrica.
Antigüedad	Entre 1 y 3 años	Empresas jóvenes con potencial de crecimiento e innovación.

Fuente: Elaboración propia (2026).

Nivel de conocimiento sobre energía solar

Los resultados muestran que el conocimiento de los empresarios sobre los sistemas fotovoltaicos es limitado. Aunque entre el 65 % y el 70 % de los participantes manifestó haber escuchado sobre la energía solar y conocer de manera general su funcionamiento, la mayoría reconoció no contar con información suficiente acerca de los costos de instalación, los requerimientos técnicos, el mantenimiento ni el tiempo estimado para recuperar la inversión.

Este hallazgo evidencia que existe una familiaridad básica con la tecnología, pero persisten vacíos de información que pueden influir en la toma de decisiones relacionadas con su implementación. En este sentido, el conocimiento técnico representa uno de los factores que condicionan la adopción de innovaciones energéticas dentro de las microempresas.

Percepción y aceptación de la energía solar

A pesar del conocimiento limitado, la percepción general hacia la energía solar fue ampliamente favorable. Más del 80 % de los empresarios consideró que los sistemas fotovoltaicos constituyen una alternativa confiable para reducir el consumo de electricidad y contribuir al cuidado del medio ambiente. Asimismo, los participantes identificaron diversos beneficios potenciales derivados de su implementación, entre los que destacan la disminución del gasto en energía eléctrica, la reducción de los costos operativos en el mediano y largo plazo, el fortalecimiento de la imagen empresarial y la contribución al desarrollo sostenible.

La aceptación de esta tecnología también fue elevada. Aproximadamente el 85 % de los empresarios manifestó estar de acuerdo o totalmente de acuerdo con incorporar sistemas fotovoltaicos en sus negocios, lo que refleja una actitud positiva hacia la innovación tecnológica y una escasa resistencia al cambio.

Estos resultados indican que la percepción favorable no constituye una limitante para la adopción de energía solar; por el contrario, existe disposición para considerar esta alternativa siempre que las condiciones económicas sean accesibles.

Disposición para invertir e implementar sistemas fotovoltaicos

Aunque cerca del 70 % de los empresarios consideró importante implementar energía solar en su negocio, la intención de realizar una inversión inmediata fue considerablemente menor. La respuesta predominante fue "Tal vez", lo que refleja que la decisión depende de diversos factores externos.

Este comportamiento sugiere que los empresarios reconocen los beneficios potenciales de la energía solar; sin embargo, antes de comprometer recursos financieros requieren contar con mayor información sobre los costos de instalación, el tiempo de recuperación de la inversión y las opciones de financiamiento disponibles.

La diferencia observada entre la aceptación de la tecnología y la disposición para invertir evidencia que la actitud positiva por sí sola no garantiza la adopción de sistemas fotovoltaicos, ya que intervienen variables económicas que condicionan la decisión final.

Barreras para la adopción de energía solar

El principal obstáculo identificado por los participantes fue el elevado costo inicial requerido para la instalación de paneles solares. Esta barrera fue señalada de manera consistente por la mayoría de los empresarios, quienes consideran que la inversión representa un riesgo importante para negocios de pequeña escala.

Además del aspecto económico, también se identificaron limitaciones relacionadas con el desconocimiento técnico de la tecnología y la falta de información sobre programas gubernamentales, subsidios y esquemas de financiamiento especializados para proyectos de energía renovable.

Estos resultados muestran que las principales dificultades para la adopción no están asociadas con el rechazo a la tecnología, sino con factores financieros e informativos que limitan la capacidad de inversión de las microempresas.

Síntesis de los resultados

En conjunto, los resultados permiten identificar una tendencia clara: los empresarios de Alvarado mantienen una percepción favorable hacia la energía solar y reconocen sus beneficios económicos, ambientales y competitivos. Sin embargo, la implementación efectiva de esta tecnología continúa condicionada por factores económicos, principalmente el costo inicial de instalación y la ausencia de mecanismos de financiamiento accesibles.

La combinación de una alta aceptación con una baja intención inmediata de inversión sugiere que existe un escenario favorable para promover políticas públicas, programas de capacitación y esquemas financieros que faciliten la transición energética de las microempresas del municipio.

Tabla 2. Principales hallazgos de la investigación

Aspecto evaluado	Hallazgo principal	Implicación
Conocimiento	Básico a intermedio	Se requiere mayor capacitación técnica.
Percepción	Muy favorable (>80 %)	Existe confianza en la tecnología.
Aceptación	Alta (≈85 %)	Escasa resistencia a la innovación.
Disposición	Moderada (≈70 %)	Depende del acceso a financiamiento.
Principal barrera	Alto costo inicial	Se requieren apoyos económicos y programas de crédito.
Beneficio más reconocido	Reducción del gasto eléctrico	La competitividad empresarial constituye el principal incentivo para la adopción.

Los resultados muestran que el conocimiento sobre la energía solar entre los empresarios encuestados es moderado a limitado. Una proporción importante manifestó haber escuchado sobre esta tecnología, aunque desconocía aspectos técnicos relacionados con su funcionamiento y beneficios económicos.

Respecto a la aceptación de la energía solar, más del 70% de los participantes expresó interés en implementar sistemas fotovoltaicos una vez explicados los beneficios asociados al ahorro de energía y la reducción de costos operativos.

Asimismo, los empresarios identificaron como principales ventajas:

- Disminución del gasto en electricidad.
- Reducción de costos operativos a largo plazo.
- Contribución al cuidado del medio ambiente.
- Mejora de la imagen empresarial ante clientes y consumidores.

Sin embargo, también se detectaron obstáculos significativos para su adopción. La principal barrera señalada fue el costo inicial de inversión requerido para la instalación de paneles solares. Otros factores identificados fueron la falta de información técnica y el desconocimiento de programas de apoyo financiero.

Los resultados evidencian que existe una percepción favorable hacia la energía solar como herramienta de innovación productiva. Los participantes consideran que la reducción de costos energéticos puede traducirse en una mayor competitividad, permitiendo reinvertir recursos en mejoras operativas y expansión de sus negocios.

Tabla 3. Resultados de la percepción, aceptación y disposición hacia la adopción de energía solar en negocios de Alvarado, Veracruz

Categoría	Resultado principal	Interpretación
Perfil de los encuestados	Predominan restaurantes y pequeños comercios del municipio de Alvarado.	Los sectores encuestados representan actividades económicas con consumo constante de energía eléctrica.
Antigüedad del negocio	La mayoría de los establecimientos tiene entre 1 y 3 años de operación.	Se trata principalmente de negocios relativamente jóvenes con potencial de crecimiento.
Nivel de conocimiento sobre energía solar	Entre el 65% y 70% manifestó poseer conocimientos básicos sobre energía solar.	Existe familiaridad general con el tema, pero un conocimiento técnico limitado sobre su funcionamiento y beneficios.
Conocimiento	Nivel de conocimiento bajo a medio.	Aunque los empresarios han escuchado sobre la energía solar, existe desconocimiento respecto a costos, instalación y recuperación de la inversión.
Percepción	Más del 80% considera que la energía solar es una alternativa buena y confiable.	Los participantes reconocen beneficios económicos, ambientales y de sostenibilidad para sus negocios.
Aceptación	Aproximadamente el 85% se mostró de acuerdo o totalmente de acuerdo con adoptar energía solar.	La adopción de esta tecnología tiene una alta aceptación entre los empresarios; no se identificó resistencia significativa al cambio.
Disposición	Cerca del 70% considera importante o muy importante implementar energía solar en su negocio.	Existe interés en utilizar esta tecnología como estrategia para reducir costos y mejorar la competitividad.
Intención de inversión	Predominó la respuesta "Tal vez" ante la posibilidad de invertir en sistemas solares.	La decisión de adopción depende principalmente de apoyos financieros, subsidios o esquemas de financiamiento accesibles.
Principal barrera identificada	Alto costo inicial de instalación.	El factor económico representa el principal obstáculo para la implementación de sistemas fotovoltaicos en los negocios encuestados.

Fuente: Elaboración propia con base en la aplicación del Instrumento de evaluación para medir la percepción, aceptación y disposición al uso de energía solar en negocios de Alvarado, Veracruz (2026).

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos muestran que las microempresas del municipio de Alvarado presentan una actitud favorable hacia la incorporación de sistemas de energía solar, aunque persisten factores que limitan su adopción. El nivel de conocimiento identificado puede considerarse básico, ya que la mayoría de los empresarios manifestó conocer de manera general esta tecnología, pero mostró desconocimiento respecto a aspectos técnicos como los costos de instalación, el mantenimiento de los sistemas y el tiempo necesario para recuperar la inversión. Esta situación sugiere que la información disponible sobre energía solar aún no es suficiente para que los propietarios de las microempresas tomen decisiones de inversión con mayor certeza.

A pesar de este conocimiento limitado, la percepción de la energía solar fue ampliamente positiva. Más del 80 % de los participantes reconoció que esta tecnología representa una alternativa confiable para disminuir el consumo de electricidad, reducir costos operativos y contribuir al cuidado del medio

ambiente. Estos resultados indican que los empresarios no perciben la innovación tecnológica como un riesgo para sus negocios, sino como una oportunidad para mejorar su desempeño económico y fortalecer su competitividad.

La aceptación de la tecnología fue uno de los hallazgos más relevantes de la investigación. Aproximadamente el 85 % de los empresarios manifestó estar de acuerdo con la incorporación de sistemas fotovoltaicos en sus establecimientos. Sin embargo, al analizar la intención real de inversión, se observó una diferencia importante entre la aceptación de la tecnología y la disposición para implementarla. La mayoría respondió que "tal vez" invertiría en paneles solares, lo que evidencia que la decisión depende principalmente de la existencia de apoyos financieros, subsidios o esquemas de financiamiento que reduzcan el impacto económico de la inversión inicial.

El principal obstáculo identificado fue el costo de instalación de los sistemas fotovoltaicos. Esta barrera fue señalada por la mayoría de los participantes y refleja las limitaciones económicas que enfrentan las microempresas para incorporar nuevas tecnologías. Asimismo, se identificó la falta de información técnica y el desconocimiento sobre programas gubernamentales de apoyo como factores que dificultan la adopción de energías renovables.

En conjunto, los resultados permiten afirmar que existe un escenario favorable para impulsar la transición energética en las microempresas de Alvarado. La percepción positiva y la alta aceptación constituyen condiciones importantes para promover la implementación de sistemas fotovoltaicos; sin embargo, será necesario fortalecer las estrategias de capacitación, asesoría técnica y acceso al financiamiento para convertir el interés de los empresarios en proyectos de inversión concretos. Estos hallazgos responden al objetivo de la investigación al demostrar que la energía solar es percibida como una herramienta de innovación productiva capaz de contribuir a la reducción de costos, mejorar la competitividad empresarial y favorecer un modelo de desarrollo económico más sostenible.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Diseñar programas permanentes de capacitación dirigidos a propietarios de microempresas para fortalecer sus conocimientos sobre el funcionamiento, mantenimiento y beneficios económicos de los sistemas fotovoltaicos.
2. Desarrollar campañas de difusión que presenten casos de éxito de empresas que han implementado energía solar, con el propósito de generar confianza y promover la adopción de esta tecnología.

3. Impulsar mecanismos de financiamiento accesibles, como créditos preferenciales, subsidios o incentivos fiscales, que reduzcan la inversión inicial requerida para instalar paneles solares.
4. Fortalecer la colaboración entre instituciones educativas, organismos gubernamentales y sector empresarial para brindar asesoría técnica durante el proceso de planeación e implementación de proyectos de energía renovable.
5. Promover la incorporación de la energía solar dentro de las estrategias de desarrollo económico municipal, reconociendo su potencial para incrementar la competitividad de las microempresas y contribuir al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad.
6. Realizar investigaciones posteriores que analicen el desempeño económico de las empresas después de implementar sistemas fotovoltaicos, con el fin de evaluar el retorno de la inversión, la reducción efectiva de costos y el impacto sobre la productividad empresarial.
7. Ampliar el alcance de futuros estudios hacia otros municipios del estado de Veracruz y diferentes sectores económicos, permitiendo comparar resultados y generar evidencia que fortalezca las estrategias de transición energética a nivel regional.

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió analizar la percepción, aceptación y disposición de las microempresas del municipio de Alvarado, Veracruz, respecto a la implementación de sistemas de energía solar como estrategia de innovación productiva. Los resultados muestran que, aunque el conocimiento técnico sobre esta tecnología aún es limitado, existe una percepción ampliamente favorable hacia sus beneficios económicos, ambientales y operativos.

Uno de los principales hallazgos fue la elevada aceptación de la energía solar entre los empresarios encuestados. La mayoría considera que la reducción del consumo eléctrico puede traducirse en menores costos de operación y en una mayor capacidad para reinvertir recursos en el crecimiento de sus negocios. Esto confirma que la innovación tecnológica es vista como una oportunidad para fortalecer la competitividad de las microempresas y no como un factor de riesgo.

No obstante, la investigación también evidenció que la aceptación de la tecnología no garantiza su implementación. La inversión inicial requerida para instalar sistemas fotovoltaicos continúa siendo el principal obstáculo para su adopción, situación que se ve reforzada por la falta de información técnica y el desconocimiento de programas de financiamiento disponibles. En consecuencia, la transición hacia modelos energéticos más sostenibles depende no solo del interés de los empresarios, sino también de la existencia de condiciones económicas que faciliten el acceso a estas tecnologías.

Los resultados permiten concluir que la energía solar representa una alternativa viable para impulsar la innovación productiva en las microempresas de Alvarado, Veracruz. Su implementación puede contribuir a disminuir costos operativos, incrementar la eficiencia energética y fortalecer la competitividad empresarial, al mismo tiempo que favorece prácticas de producción más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Finalmente, esta investigación aporta información útil para el diseño de políticas públicas y programas institucionales orientados a promover el uso de energías renovables en pequeñas empresas. Asimismo, constituye un punto de partida para futuras investigaciones que evalúen el impacto económico real de la implementación de sistemas fotovoltaicos y analicen su efecto sobre la productividad y el crecimiento empresarial en otros municipios de la región.

REFERENCIAS

Aguirre Peña, J. D. (2020). *La universidad y la creación de empresas para impulsar la innovación de los Tecnológicos Nacionales de México*. Revista IPSUMTEC, 3(2), 63-71. **https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v3i2.43**

Canales-Obeso, J. J., Jáuregui-Wade, L., Oropeza-Tosca, D. R., & Notario-Priego, R. (2025). *Estaciones autosustentables con conectividad Wi-Fi: Innovación tecnológica y sostenibilidad energética en el TECNM Campus Villahermosa*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(5), 17329-17336.

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). *Comparison of convenience sampling and purposive sampling*. American Journal of Theoretical and Applied Statistics, 5(1), 1–4. https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11

Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Hernández Peralta, A. de J., Crudet Balderas, J. C., Gómez Sánchez, J., & Pérez Hernández, I. (2021). *Análisis de competitividad sistémica de las mypes bajo un enfoque de productividad, innovación e industria 4.0*. Revista RELAYN-Micro y Pequeña Empresa en Latinoamérica, 5(1), 7-31.

International Renewable Energy Agency. (2021). *Renewables and SMEs: Policies and business models for a competitive transition*. IRENA.

Secretaría de Energía. (2023). *Prospectiva de Energías Renovables en México*. Gobierno de México.

International Energy Agency. (2022). *Renewables 2022: Analysis and Forecast to 2027*. IEA.

International Energy Agency. (2024). *Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030*. Paris, France: IEA. https://www.iea.org/reports/renewables-2024

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Censos Económicos 2024*. https://www.inegi.org.mx

International Renewable Energy Agency. (2024). *Renewable Capacity Statistics 2024*. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/publications

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Energía sostenible para el desarrollo empresarial y la competitividad local*. Naciones Unidas.

López-López, U. A., Tagle-Pérez, Á. A., Ramírez-Castillejo, R. I., Ramírez-Castillejo, G., & Ayala-Bernal, F. J. (2022). *Beneficios de la utilización de las celdas fotovoltaicas en las empresas familiares de producción y venta de aguacate para exportación*. Revista IPSUMTEC, 5(4).

Secretaría de Energía. (2024). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2024–2038*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/sener

Organisation for Economic Co-operation and Development., & European Commission. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4th ed.). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264304604-en

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *SME and Entrepreneurship Outlook 2023*. OECD Publishing.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. https://sdgs.un.org/2030agenda

Vásquez González, J. (2025). *Innovación tecnológica e inclusión mediante Design Thinking para el desarrollo sostenible y el crecimiento de las microempresas: Prueba piloto en dos establecimientos*. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba.

World Bank. (2020). *Innovation Policy: A Guide for Developing Countries*.

World Economic Forum. (2023). *The Future of Jobs Report 2023*.

Zúñiga Puente, M. E., & Zúñiga Gámez, T. A. (2021). *Evaluación financiera y huella de carbono de un proyecto de transición energética en una microempresa*. Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales, 3(5), 17-35.

PLAN ESTRATEGICO DE UN COMPLEJO TURISTICO EN URSULO GALVAN

Marco Antonio Díaz Ramos[1]
Guadalupe Pérez Cervantes[2]
María de los Ángeles Acosta Soberano[3]
Verónica Romo López[4]

RESUMEN

Este plan estratégico para el Complejo turistico traza una ruta para liderar el sector turístico en Chachalacas, integrando gastronomía, hospedaje y actividades de aventura bajo un enfoque sostenible. Mediante un análisis riguroso, incluyendo matrices PEYEA y BCG, el complejo ha definido una postura agresiva para potenciar su ventaja competitiva basada en una ubicación privilegiada y oferta diversificada. La estrategia utiliza el modelo *Hoshin Planning* para alinear objetivos operativos con la excelencia en el servicio. Finalmente, un robusto sistema de control con KPIs y planes de contingencia asegura la viabilidad financiera y la satisfacción del cliente.

Palabras clave: Turismo recreativo, Gestión estratégica, Sostenibilidad

INTRODUCCIÓN

El presente plan de gestión estratégica se fundamenta en la necesidad de consolidar y proyectar el crecimiento de un complejo turístico ubicado en la privilegiada región de Chachalacas, Veracruz. Este espacio ha sido diseñado con el propósito central de brindar tranquilidad, un contacto íntimo con la naturaleza y, de manera primordial, una experiencia familiar integral y memorable frente al río y el mar. A través de una robusta oferta que fusiona servicios de hospedaje (hotel, cabañas y casas de descanso), una propuesta gastronómica especializada en mariscos y cocina veracruzana, y un abanico de actividades recreativas—tales como tours en lancha, recorridos en cuatrimotos, sandboard y un zoológico propio—, el complejo turístico busca posicionarse como el referente líder del sector en la región.

Para alcanzar este nivel de competitividad en un mercado dinámico y demandante, la organización se rige bajo una sólida filosofía corporativa estructurada por valores esenciales como la honestidad, la gratitud, el respeto, la hospitalidad y una profunda responsabilidad ambiental. No obstante, el éxito a

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. marco.dr@ugalvan.tecnm.mx
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. guadalupe.pc@ugalvan.tecnm.mx
[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. angeles.as@ugalvan.tecnm.mx
[4] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

largo plazo requiere ir más allá de la excelencia operativa diaria; exige un análisis riguroso del entorno para anticipar los cambios políticos, económicos, socioculturales y tecnológicos que impactan de manera directa a la actividad turística y restaurantera de la zona.

Bajo esta premisa, este documento detalla el diseño de un Plan de Gestión Estratégica dividido en etapas metodológicas clave. En primera instancia, se define la identidad y el marco axiológico del complejo turístico. Posteriormente, se efectúa un diagnóstico situacional mediante herramientas de análisis estratégico externo (como las matrices PEST, las Cinco Fuerzas de Porter y la Matriz de Evaluación de Factores Externos) e interno (Matriz FODA y Matriz de Factores Internos), las cuales permiten identificar con claridad las fortalezas institucionales frente a las amenazas y oportunidades del ecosistema.

Finalmente, el trabajo aborda la formulación analítica de estrategias mediante matrices de posicionamiento (PEYEA, BCG e Interna-Externa), trazando la ruta para una implementación eficaz coordinada por áreas funcionales (operaciones, marketing, finanzas y recursos humanos). Este despliegue estratégico se complementa con un robusto sistema de evaluación, métricas administrativas y un plan de contingencias diseñado para mitigar riesgos, asegurando de esta manera que el complejo turístico no solo mantenga una sólida salud financiera, sino que logre una ventaja competitiva sostenible que trascienda a nivel local, estatal y nacional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El complejo turístico, ubicado en la región de Chachalacas, Veracruz, cuenta con un alto potencial de crecimiento gracias a su ubicación privilegiada a la orilla del río y su variada oferta que combina gastronomía local de calidad, hospedaje y actividades de turismo recreativo y todoterreno. Sin embargo, a pesar de poseer sólidas fortalezas internas y una propuesta de valor enfocada en la hospitalidad familiar y la conexión con la naturaleza, la organización enfrenta una serie de desafíos estructurales, operativos y de entorno que limitan su consolidación en el mercado local, estatal y nacional.

En el ámbito del entorno externo, el complejo turístico opera bajo una fuerte vulnerabilidad debido a la alta dependencia del turismo estacional, concentrando sus principales ingresos en periodos de vacaciones, puentes y Semana Santa. Esta estacionalidad se ve severamente agravada por factores ecológicos y climáticos imprevistos, tales como lluvias, vientos o huracanes, que provocan la cancelación de actividades al aire libre y una baja drástica en la afluencia de visitantes. A esto se suma un entorno macroeconómico complejo, caracterizado por una constante presión inflacionaria que encarece insumos críticos (como los mariscos, el gas y la electricidad) y un incremento en los costos

de operación derivados del aumento al salario mínimo. Asimismo, la empresa se desenvuelve en un mercado con una rivalidad competitiva muy alta en la zona costera y ribereña, donde se enfrenta a la amenaza constante de nuevos competidores con giros similares y a una creciente exigencia por parte de los clientes, quienes comparan precios y basan sus decisiones en la reputación digital.

A nivel interno y operativo, se identifican deficiencias clave que frenan la eficiencia de la organización. Entre las principales debilidades destacan un aislamiento acústico débil en las instalaciones, costos de mantenimiento elevados en los equipos y vehículos de los tours, y serias dificultades en la gestión de recursos humanos, particularmente en la contratación y retención de personal calificado durante las temporadas altas, lo que impacta directamente en los tiempos de espera y en la consistencia de la calidad del servicio. Adicionalmente, el complejo experimenta una ubicación geográficamente alejada de las grandes ciudades y molestias ocasionadas por la fauna local (como mosquitos), aspectos que afectan la experiencia del cliente si no se gestionan de forma preventiva. En el plano digital, el negocio presenta la necesidad apremiante de estructurar sus canales de comunicación, optimizar su sistema de reservaciones en línea y mejorar la gestión de reseñas para potenciar su visibilidad.

La falta de una planificación estratégica formalizada impide que las diferentes áreas funcionales (administración, cocina, marketing, operaciones y mantenimiento) trabajen de manera alineada bajo un mismo sistema de control. Sin una estandarización de procesos y sin la definición de indicadores clave de desempeño (KPI), la empresa corre el riesgo de absorber la presión de costos reduciendo sus márgenes de utilidad, sufrir incidentes de seguridad en sus actividades recreativas o disminuir los niveles de satisfacción de los huéspedes y comensales.

Por lo tanto, el problema central radica en la ausencia de un plan de gestión estratégica integral que alinee la cultura organizacional, optimice los recursos financieros, mitigue los riesgos climáticos y comerciales del entorno, y estandarice las operaciones del complejo turístico. De no resolverse esta problemática, la empresa continuará operando de manera reactiva ante las fluctuaciones del mercado, limitando su rentabilidad anual, perdiendo competitividad frente a los actores locales y comprometiendo su visión de consolidarse como el complejo turístico líder en la región de Chachalacas–La Antigua.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un Plan de Gestión Estratégica integral para el complejo turístico ubicado en la región de Chachalacas, Veracruz, que permita alinear su cultura organizacional, estandarizar sus procesos operativos y mitigar los riesgos del entorno, con la finalidad de optimizar su rentabilidad

financiera, garantizar la excelencia en el servicio y consolidar su posicionamiento competitivo a nivel local, estatal y nacional.

Objetivos Específicos

1. Estructurar y formalizar el marco filosófico institucional: Definir con claridad la misión, visión, principios y valores organizacionales del complejo turístico, asegurando que sirvan como base axiológica para moldear el comportamiento del personal y guiar la toma de decisiones directivas.
2. Realizar un diagnóstico situacional del entorno externo: Analizar las variables políticas, económicas, socioculturales, tecnológicas y ecológicas (PEST + Porter), así como los factores críticos de éxito del mercado, para identificar con precisión las oportunidades de crecimiento y las amenazas que impactan al sector turístico de la región.
3. Evaluar las capacidades estratégicas internas de la organización: Identificar y ponderar las principales fortalezas y debilidades operativas, financieras, de recursos humanos y de marketing del complejo a través de la Matriz de Factores Internos (EFI) y la Matriz FODA, con el fin de robustecer sus ventajas competitivas.
4. Formular estrategias competitivas y de crecimiento: Desarrollar alternativas de acción mediante el uso de matrices analíticas de la planeación estratégica (Matriz PEYEA, Matriz BCG y Matriz Interna-Externa), orientando al complejo hacia enfoques que optimicen su mezcla de productos y servicios.
5. Establecer los lineamientos para la implementación por áreas funcionales: Diseñar los planes, programas, presupuestos y procedimientos estandarizados para los departamentos de administración, operaciones, seguridad, marketing y recursos humanos, utilizando modelos de despliegue estratégico alineados a la eficiencia corporativa.
6. Desarrollar un sistema de evaluación, control y contingencias: Definir Indicadores Clave de Desempeño (KPI) cuantitativos y cualitativos, auditorías internas y un plan de contingencia formal para medir de forma continua el avance de los objetivos y garantizar respuestas rápidas ante escenarios de riesgo climático, financiero u operativo.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿De qué manera el diseño e implementación de un Plan de Gestión Estratégica integral permitirá al complejo turístico de Chachalacas, Veracruz, mitigar los riesgos del entorno, estandarizar sus procesos operativos y alinear su cultura organizacional para optimizar su rentabilidad y consolidar su liderazgo competitivo en la región?

HIPÓTESIS

El diseño e implementación de un Plan de Gestión Estratégica integral—que articule la filosofía corporativa, optimice la mezcla de servicios (restaurante, hospedaje y actividades recreativas) mediante estrategias de tipo agresivo y estandarice los procesos operativos—permitirá al complejo turístico de Chachalacas, Veracruz, mitigar el impacto negativo de la estacionalidad y los riesgos del entorno, incrementando de manera sostenible su rentabilidad financiera, la satisfacción del cliente y su posicionamiento competitivo en el mercado regional.

ANTECEDENTES

El sector turístico a nivel global y nacional se encuentra en constante evolución, exigiendo a las organizaciones una rigurosa adaptabilidad y un enfoque estratégico formal para garantizar su permanencia en el mercado. En el contexto de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPyMEs) turísticas, la literatura científica resalta que la falta de una estructura administrativa formalizada suele limitar el crecimiento y la competitividad, obligando a estas unidades de negocio a operar de manera empírica y reactiva frente a los cambios del entorno (Saavedra García & Almeida Gutiérrez, 2020). En el estado de Veracruz, de manera particular, el corredor turístico que abarca la zona de Chachalacas y La Antigua se destaca por poseer una geografía dinámica y diversa que combina la desembocadura de ríos y ecosistemas de dunas y playas de alta demanda. En este entorno costero y ribereño, las organizaciones del sector se desenvuelven bajo un esquema altamente competitivo que les exige una constante adaptación en sus tendencias comerciales y operativas.

Bajo esta dinámica sectorial nace el complejo turístico, concebido originalmente como un espacio diseñado para el descanso y la recreación familiar a la orilla del río. En sus inicios, la unidad de negocio enfocó sus esfuerzos comerciales en el sector de alimentos y bebidas a través de una propuesta de restaurante con especialidad en mariscos y cocina tradicional veracruzana, aprovechando la frescura de los insumos locales de la región. De acuerdo con Porter (2008), la sostenibilidad de una ventaja competitiva depende de la capacidad de la empresa para explotar las características únicas de su entorno; en este sentido, la aceptación del público y la ubicación privilegiada del predio impulsaron de manera paulatina una diversificación horizontal de sus servicios, evolucionando de ser un establecimiento puramente gastronómico a transformarse en un complejo turístico multifuncional de descanso y aventura.

Con el objetivo de capturar nuevos segmentos de mercado e incrementar la estancia promedio y el gasto del visitante, la organización incorporó infraestructura de hospedaje mediante la edificación de cabañas, un hotel y casas de descanso. En paralelo, aprovechando el atractivo natural de las dunas y

los cuerpos de agua circundantes, el complejo integró a su oferta actividades de turismo de aventura y ecoturismo, tales como rutas todoterreno en cuatrimotos, sandboard, paseos en lancha y kayak, complementados de forma única en la zona con un zoológico y albercas para el esparcimiento familiar. Académicamente, la diversificación de servicios en zonas ribereñas y costeras es reconocida como una estrategia efectiva para mitigar los impactos de la estacionalidad de la demanda, un fenómeno crítico que afecta de manera cíclica los ingresos de los destinos turísticos tradicionales (Baum & Hagen, 2015).

A pesar de contar con esta robusta propuesta comercial, el crecimiento de la empresa se ha enfrentado de manera histórica a las marcadas fluctuaciones de la demanda turística estacional, al impacto imprevisto de fenómenos meteorológicos y a una rivalidad competitiva local muy agresiva que presiona de forma constante los márgenes de utilidad bruta. Asimismo, la complejidad interna de administrar de manera simultánea un restaurante, áreas hoteleras y actividades de turismo de aventura con altos requerimientos de seguridad, evidenció la necesidad latente de transitar de una administración empírica hacia una dirección profesionalizada e institucional (David, 2013). Frente a esta realidad, la organización—en vinculación con el programa de Ingeniería en Gestión Empresarial—identifica la urgencia de estructurar sus esfuerzos bajo una metodología formal de planeación estratégica, sentando así los antecedentes necesarios para la transformación competitiva del negocio.

MARCO CONCEPTUAL

Gestión Estratégica (Strategic Management)

La gestión estratégica se define como el arte y la ciencia de formular, implementar y evaluar decisiones multifuncionales que permiten a una organización alcanzar sus objetivos de largo plazo (David & David, 2016). En el contexto de las organizaciones contemporáneas, Wheeler et al. (2018) señalan que la gestión estratégica no es un proceso estático, sino un sistema dinámico y adaptativo que permite a las empresas alinear sus recursos internos con las demandas cambiantes del entorno macroeconómico. Para el complejo turístico, la adopción de este enfoque formalizado resulta indispensable para abandonar la administración empírica e integrar áreas tan diversas como alimentos y bebidas, hospedaje y actividades recreativas en un solo esfuerzo corporativo orientado al crecimiento.

Diagnóstico Situacional y Matrices de Evaluación (EFI / EFE)

El diagnóstico situacional es la etapa analítica donde la empresa evalúa de forma cualitativa y cuantitativa su entorno operativo. De acuerdo con Helms y Nixon (2010), el uso de la Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI) y la Matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) permite a las pequeñas y medianas empresas sistematizar las fortalezas y debilidades organizacionales frente

a las oportunidades y amenazas del mercado. En empresas de servicios de hospitalidad, esta auditoría analítica ayuda a priorizar los recursos escasos hacia la mitigación de vulnerabilidades operativas (como la rotación de personal o deficiencias de infraestructura) antes de que afecten la rentabilidad comercial (Sainaghi, 2010).

Estacionalidad Turística (Tourism Seasonality)

La estacionalidad es una de las características estructurales más complejas del sector turístico, definida como la fluctuación temporal de la demanda provocada por factores climáticos, institucionales o vacacionales (Baum & Hagen, 2015). Cisneros-Martínez y Fernández-Morales (2015) demuestran que la alta concentración de la demanda en temporadas específicas (como Semana Santa o puentes vacacionales) genera una fuerte inestabilidad en el flujo de efectivo y complica la retención de talento humano calificado. Esta condición es un factor crítico para el complejo turístico, el cual experimenta bajas en la afluencia y vulnerabilidad ante eventos climatológicos imprevistos propios de la zona costera de Veracruz.

Diversificación de Servicios Turísticos

Como respuesta a la estacionalidad y a la alta rivalidad competitiva, las empresas implementan estrategias de diversificación horizontal, añadiendo productos o servicios nuevos pero relacionados con su giro principal (Kukanja et al., 2017). En destinos costeros o de aventura, la integración de servicios complementarios—como la fusión de un restaurante, oferta de hospedaje y tours recreativos todoterreno—permite estabilizar los ingresos, incrementar la estancia promedio del cliente y generar una diferenciación frente a competidores directos que ofrecen opciones tradicionales (Alves et al., 2019).

Cultura Organizacional y Hospitalidad

La cultura organizacional comprende el conjunto de valores, principios y normas compartidas que dictan cómo interactúan los colaboradores y cómo se ejecutan los procesos internos (Camisón & Villar-López, 2014). En la industria de la hospitalidad, Dawson et al. (2011) acuñan el concepto de "cultura del servicio", demostrando científicamente que la alineación de valores corporativos (como la honestidad y la gratitud) con programas de capacitación e incentivos específicos reduce la rotación de personal, fomenta el trabajo en equipo y eleva de manera directa los índices de satisfacción del cliente.

Control Estratégico e Indicadores Clave de Desempeño (KPI)

El control estratégico es la fase del proceso administrativo encargada de medir el rendimiento real de la organización frente a las metas planificadas, facilitando la implementación de acciones correctivas inmediatas (Kaplan & Norton, 2005). La literatura contemporánea enfatiza el uso de Indicadores Clave de Desempeño (KPI) financieros y no financieros, distribuidos en áreas funcionales como finanzas,

operaciones y marketing, como la herramienta más eficiente para monitorear la calidad del servicio, mantener márgenes de utilidad estables y asegurar la seguridad operativa en actividades que conllevan riesgos de ejecución (García-Sánchez et al., 2019).

MARCO REFERENCIAL

El Modelo de las Cinco Fuerzas de Porter y la Ventaja Competitiva

El análisis de la competitividad en destinos turísticos saturados se fundamenta teóricamente en los postulados de Michael Porter (2008), quien sostiene que la rentabilidad de una empresa está determinada por la estructura de su industria y por cómo interactúan cinco fuerzas competitivas básicas. En el caso del complejo turístico, la *rivalidad entre competidores existentes* en la costa de Chachalacas es muy alta, debido a la proliferación de establecimientos gastronómicos y de hospedaje tradicionales con giros similares.

Asimismo, investigaciones contemporáneas como la de Dwyer y Kim (2014) sobre los modelos de competitividad en destinos turísticos señalan que los factores heredados (ubicación costera, recursos naturales y el río) no bastan para sostener el liderazgo de mercado. La ventaja competitiva real surge de la capacidad de la administración para crear "factores creados", es decir, una oferta integrada y diferenciada de servicios que rompa la rivalidad por precio y eleve el poder de negociación de la empresa frente a un cliente que compara fácilmente opciones digitales y reseñas en línea (Buhalis & Law, 2018).

El Corredor Turístico Costero de Veracruz

El entorno geográfico define de manera directa las oportunidades y restricciones operativas de la organización. La literatura científica enfocada en geografía del turismo y desarrollo regional en el Golfo de México destaca que la zona de Chachalacas–La Antigua posee una morfología costera y de dunas única, idónea para el turismo de naturaleza y de aventura (Serrano-Giles et al., 2021).

Sin embargo, estudios de vulnerabilidad ambiental y resiliencia corporativa en áreas litorales demuestran que las empresas ubicadas en estas regiones geográficas enfrentan un riesgo sistémico debido a fenómenos hidrometeorológicos (frentes fríos, inundaciones y huracanes), lo que exige una planeación de contingencias integrada formalmente en la administración del negocio (Guzmán-Hernández & Martínez-Ramos, 2020). Esto justifica plenamente la inclusión de un plan de contingencias climático dentro de los controles operativos del complejo para mitigar cancelaciones y bajas de flujo financiero.

Vinculación con Ingeniería en Gestión Empresarial

A nivel de marcos de referencia metodológicos para la intervención y consultoría en MiPyMEs, el uso de modelos estructurados de despliegue estratégico es reconocido académicamente como un catalizador para la profesionalización de empresas familiares. Tennant y Roberts (2011) evalúan la efectividad de la metodología *Hoshin Kanri* (Planeación Hoshin) y el proceso de *Catchball*, demostrando que estos enfoques permiten desglosar las metas de largo plazo en objetivos funcionales (operativos a un año) por departamentos.

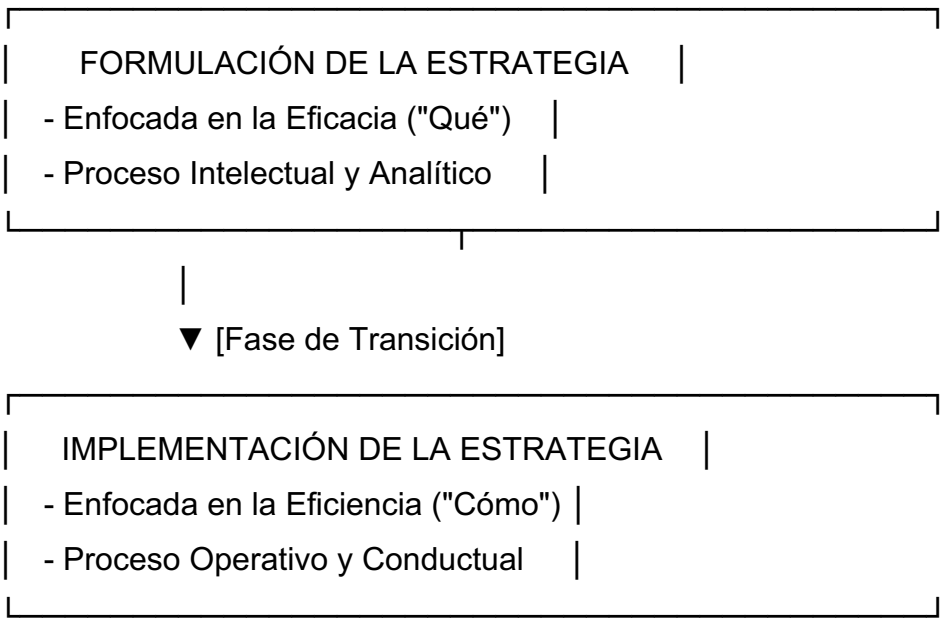
Para el complejo turístico, el uso de este modelo de despliegue—estructurado desde el programa académico de Ingeniería en Gestión Empresarial—actúa como el marco institucional que unifica las áreas de operaciones, mantenimiento, seguridad, marketing y finanzas en una sola matriz de responsabilidades coordinada, sustituyendo el empirismo previo por un control administrativo científico.

METODOLOGÍA

Relación entre formulación e implementación de la estrategia

La planeación estratégica dentro del complejo turístico no es un evento aislado, sino un proceso cíclico y continuo compuesto por dos grandes etapas interdependientes: la formulación y la implementación. Aunque ambas fases son indispensables para alcanzar el éxito competitivo, poseen naturalezas, enfoques y requerimientos operativos radicalmente distintos que deben coordinarse con precisión.

A continuación, se detalla la relación y las diferencias fundamentales entre ambos conceptos aplicados a la realidad de la organización:



Diferencias Operacionales y Conceptuales

Para el correcto despliegue del plan de trabajo del complejo, es necesario contrastar ambas fuerzas organizacionales:

- Enfoque de Fuerzas: Formular la estrategia consiste en colocar a las fuerzas de la organización en sus posiciones antes de entrar en acción, lo cual se logró al diseñar las matrices FODA, PEYEA y BCG para el complejo. Por el contrario, la implementación consiste en administrar e impulsar esas fuerzas durante la acción diaria en las dunas, el río, el restaurante y el hotel.
- Eficacia vs. Eficiencia: La formulación de estrategias se enfoca primordialmente en la eficacia (determinar *qué* objetivos correctos se persiguen, como la meta de incrementar un 20% anual el volumen de clientes o reducir a cero los accidentes). La implementación se enfoca estrictamente en la eficiencia (determinar *cómo* se ejecutan las tareas optimizando el uso de los recursos financieros, el combustible de las cuatrimotos y el tiempo de entrega de los platillos en la cocina).
- Naturaleza del Proceso: La formulación es un proceso primordialmente intelectual y analítico, basado en capacidades intuitivas y de diagnóstico estadístico (como los cálculos de valor ponderado en las matrices internas y externas). La implementación es un proceso primordialmente operativo y conductual, centrado en la acción coordinada, la motivación del personal y la resolución de contingencias reales en el campo.
- Habilidades Requeridas: Mientras que la formulación exige capacidades analíticas agudas de planeación, la implementación demanda habilidades especiales de liderazgo, comunicación y motivación para coordinar los esfuerzos de grupos numerosos de personas.

El Factor Humano como Eje de Conexión

La transición entre formular e implementar representa el mayor reto para el complejo turístico. Mientras que la formulación de las estrategias puede ser coordinada y delineada por unas cuantas personas (la gerencia general y los asesores del proyecto), la fase de implementación requiere obligatoriamente que se coordinen muchas personas (meseros, cocineros, guías de tours, personal de mantenimiento, recepcionistas y cuidadores del zoológico).

Nota de Alineación: De nada sirve haber determinado matemáticamente en la Matriz PEYEA que el complejo debe seguir una postura agresiva, o haber identificado en la Matriz BCG que los camarones son un "producto estrella", si al momento de operar el restaurante los cocineros y meseros no trabajan de forma coordinada, provocando demoras en el servicio e insatisfacción en el comensal.

Por lo tanto, la relación entre ambos conceptos es de codependencia absoluta: una excelente formulación estratégica carece de valor sin una implementación eficiente y disciplinada en cada área

funcional; y una implementación enérgica pero sin una formulación previa orientada por matrices analíticas se convierte en un esfuerzo empírico, reactivo y sin un rumbo competitivo claro para el negocio.

Alcance de la investigación

El presente proyecto de gestión estratégica no se limita a una observación pasiva de la realidad organizacional, sino que se estructura bajo un enfoque metodológico de doble dimensión. Por lo tanto, se determina que el alcance de la investigación es descriptivo y propositivo, lo que permite diagnosticar con rigor científico las variables del negocio para posteriormente formular soluciones viables.

Alcance Descriptivo

Esta dimensión metodológica es indispensable para caracterizar de forma minuciosa la situación real y actual del complejo turístico, así como las dinámicas del entorno en el que compite. El estudio posee un alcance descriptivo debido a los siguientes factores:

- Diagnóstico del Entorno Macroeconómico y Microeconómico: Permite registrar y analizar variables externas críticas, tales como la presión inflacionaria que eleva los costos de insumos esenciales (mariscos, gas y energía eléctrica) y el impacto del incremento del salario mínimo en los márgenes de utilidad bruta.
- Evaluación del Marco Político-Legal y Ecológico: Detalla las obligaciones normativas y de cumplimiento ante instancias como COFEPRIS y Protección Civil, las licencias para la venta de alcohol, y los riesgos sistémicos de la zona costera de Chachalacas, tales como la erosión y los fenómenos hidrometeorológicos (lluvias, vientos y huracanes).
- Análisis de la Oferta y Operación Interna: Describe las características estructurales de la mezcla de servicios de la organización (restaurante de mariscos, hotel, cabañas, áreas de camping, zoológico y tours todoterreno en cuatrimotos o lanchas). Asimismo, documenta las deficiencias operativas existentes, tales como un aislamiento acústico débil, costos de mantenimiento elevados y las dificultades para la contratación y retención de talento humano en temporadas de alta demanda.
- Ponderación de Factores Críticos: Cuantifica, a través de las matrices de diagnóstico (EFI, EFE y PEYEA), el nivel de competitividad de la empresa frente a rivales directos de la región (como Artisan y Xicarú) para conocer la postura estratégica de partida, la cual se determinó estadísticamente como de tipo agresiva.

Alcance Propositivo

Una vez establecido el diagnóstico situacional, el proyecto transita hacia un alcance propositivo. Este nivel busca generar un modelo de intervención estratégica con base científica, diseñado específicamente para resolver los problemas de administración empírica del complejo. El alcance es propositivo porque desarrolla:

- Planes de Acción Detallados: Estructura líneas de acción concretas derivadas de los cruces de la matriz FODA (estrategias FO, DO, FA, DA), asignando subacciones, indicadores de desempeño (KPI) y periodos específicos para su ejecución.
- Matrices de Selección Estratégica: Aplica herramientas analíticas avanzadas como la Matriz del Boston Consulting Group (BCG) para optimizar la cartera de productos y la Matriz Interna-Externa (IE) para guiar decisiones de inversión y diversificación.
- Modelos de Despliegue Funcional (Hoshin Kanri): Traduce las directrices generales del negocio en metas e iniciativas operativas anuales y medibles para cada área de responsabilidad (operaciones, finanzas, cocina, marketing y recursos humanos).
- Mecanismos de Control y Mitigación de Riesgos: Diseña un Plan de Contingencia formal para anticipar escenarios críticos (fallas de equipo, bajas de demanda o alertas climáticas), asegurando la continuidad del negocio y la protección de los márgenes financieros.

Fuentes de información y sujetos de estudio

Para garantizar la validez, confiabilidad y objetividad de los datos utilizados en la construcción del plan de gestión estratégica, el proceso de recolección de información se segmenta en dos categorías fundamentales: fuentes primarias y fuentes secundarias.

Fuentes Primarias

Las fuentes primarias constituyen la información directa, de primera mano y sin intermediarios, recolectada en el sitio donde ocurren las operaciones del complejo turístico. Estas se dividen en dos subcategorías:

Sujetos de Estudio (Capital Humano)

Comprende a los actores clave que integran la estructura organizacional y operativa del complejo, quienes aportan datos sobre los procesos, limitantes y el clima interno del negocio:

- Gerencia y Dirección: Aporta la visión general del negocio, las directrices de financiamiento, las prioridades de inversión y las metas de rentabilidad a largo plazo.
- Área de Administración y Finanzas: Proporciona datos sobre el flujo de efectivo, registros diarios de ingresos/gastos y control de costos operativos.

- Área de Cocina y Restaurante (Chef y Personal de Servicio): Ofrece información sobre la estandarización de recetas, tiempos de preparación, rotación de insumos y la relación de ventas de platillos clave (como camarones, cócteles y mojarra frita).
- Área de Operaciones, Seguridad y Mantenimiento: Suministra información sobre las bitácoras de revisión mecánica de los vehículos todoterreno, control de refacciones, inventarios de equipo protector y protocolos de primeros auxilios.
- Áreas de Marketing y Recursos Humanos: Aportan datos sobre el desempeño de campañas digitales, canales de reservación, incidencias en la contratación de personal temporal y necesidades de capacitación.

B. Documentación Interna Operativa

Consiste en la evidencia física e histórica generada por la propia actividad comercial del complejo:

- Bitácoras operativas de mantenimiento de lanchas y cuatrimotos.
- Listas de verificación (*checklists*) de seguridad antes de los recorridos.
- Registros históricos de ventas correspondientes a los periodos 2023 y 2024.

Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias hacen referencia a la información que ya ha sido procesada, analizada y compilada por terceras personas o instituciones de forma externa, sirviendo como marco de comparación y sustento analítico para el proyecto:

- Plataformas de Reservación y Reputación Online: Datos extraídos de los canales digitales de la empresa en Google Maps, Booking y redes sociales, utilizados para monitorear el comportamiento del consumidor, medir la tasa de clics (CTR) de los anuncios y analizar cualitativamente las reseñas y opiniones de los huéspedes y comensales.
- Manuales Normativos y de Regulación: Documentos emitidos por las autoridades correspondientes que dictan las pautas legales para la operación del negocio, incluyendo los reglamentos de sanidad e higiene alimentaria de COFEPRIS y las normas de seguridad de Protección Civil para zonas ribereñas y actividades de aventura costera.
- Literatura Científica Especializada: Artículos de investigación indexados, tesis académicas y libros de texto especializados en las disciplinas de planeación estratégica, administración y turismo de aventura. Estos textos proveen el soporte metodológico fundamental para dar validez científica al uso de herramientas analíticas (matrices EFE, EFI, PEYEA, BCG y el despliegue metodológico de Hoshin Kanri).

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de las etapas del plan estratégico, se aplican las siguientes técnicas e instrumentos:

- Auditoría Interna (Técnica): Aplicación de listas de verificación y bitácoras operativas para evaluar diariamente el estado mecánico de los vehículos de tours y los inventarios de seguridad (cascos, goggles, guantes).
- Auditoría Externa (Técnica): Análisis de *benchmarking* competitivo aplicado cada 30 días a los 5 competidores más cercanos de la zona ribereña y costera, evaluando aspectos de precio, calidad del producto y lealtad del cliente.
- Evaluación del Cliente (Técnica): Diseño y aplicación de encuestas de satisfacción post-visita cortas en canales digitales y presenciales para medir el nivel de experiencia del comensal y huésped (con una meta mínima establecida del 90% de satisfacción).

Procedimiento para el Desarrollo del Proyecto (Fases Metodológicas)

El proceso metodológico se estructura en cinco fases consecutivas alineadas con los objetivos específicos:

- Fase 1: Diagnóstico Filosófico Organizacional: Revisión, actualización e institucionalización de la misión, visión, principios y el catálogo de 13 valores organizacionales y personales del complejo turístico.
- Fase 2: Análisis Estratégico del Entorno (Externo e Interno): Construcción de la matriz PEST + Porter para identificar las fuerzas político-legales, económicas, socioculturales y tecnológicas que impactan al sector. Desarrollo de la Matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) evaluando la competitividad frente a marcas de la región (Artisan y Xicarú) y de la Matriz de Factores Internos (EFI) para determinar el índice de eficiencia operativa del negocio.
- Fase 3: Formulación y Alineación Estratégica: Cruce de variables mediante la Matriz FODA para establecer líneas de acción Maxi-Maxi, Mini-Maxi, Maxi-Mini y Mini-Mini. Aplicación de matrices analíticas avanzadas: Matriz de la Posición Estratégica y la Evaluación de la Acción (PEYEA) para definir la postura competitiva (determinándose un perfil agresivo), Matriz del Boston Consulting Group (BCG) para clasificar la mezcla de servicios (ej. Camarón como producto estrella, Cabañas como producto vaca) y la Matriz de Planeación Estratégica Cuantitativa (MPEC) junto con la matriz GE.
- Fase 4: Diseño del Plan de Implementación Funcional: Estructuración de programas operativos con horizonte a 1 año divididos por áreas clave de responsabilidad (Operaciones, Seguridad y Mantenimiento, Sostenibilidad, Marketing, Administración y Recursos Humanos). Despliegue

de los planes tácticos mediante la matriz metodológica de Hoshin Kanri para asignar metas exactas, indicadores de cumplimiento y responsables específicos.

- Fase 5: Estructuración del Sistema de Control y Contingencias: Definición de los KPI estratégicos por departamento (como el CTR del 5% en campañas digitales y la reducción del 20% en tiempos de entrega en restaurante). Diseño de la matriz de contingencia que describe los escenarios de riesgo (como fenómenos climáticos, fallas de equipo o alta rotación de personal), sus impactos potenciales y las acciones preventivas y correctivas a ejecutar por la gerencia.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados derivados de este plan de gestión estratégica para el complejo turístico consolidan el diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la organización, proporcionando una base científica para la toma de decisiones administrativamente institucionalizadas. En primer lugar, la Matriz de Evaluación de Factores Internos (EFI) arrojó una calificación total ponderada de 2.45, lo que evidencia que las debilidades operativas, como el aislamiento acústico débil, los altos costos de mantenimiento y las dificultades de contratación de personal en temporada alta, superan ligeramente el peso de las fortalezas actuales, señalando una necesidad prioritaria de estandarización en sus procesos. Por el contrario, la Matriz de Evaluación de Factores Externos (EFE) demostró un desempeño favorable al alcanzar una puntuación de 2.9, cifra que posiciona al complejo por encima de sus competidores directos en la región de Chachalacas, Artisan (2.5) y Xicarú (2.4); esto comprueba que, a pesar de las presiones inflacionarias en insumos y los riesgos climatológicos de la zona costera, la empresa aprovecha eficientemente las oportunidades del entorno gracias a la calidad de sus productos y a la lealtad de sus clientes.

En lo que respecta a la formulación estratégica, el procesamiento de la Matriz de la Posición Estratégica y la Evaluación de la Acción (PEYEA) definió que el complejo debe adoptar una postura de tipo agresiva, sustentada en un vector direccional con coordenadas de -0.2 en el eje X y +1.4 en el eje Y. Este resultado geométrico se fundamenta en un sólido promedio en Fuerza Financiera de +4.0 y en Fuerza de la Industria de +4.2, los cuales logran contrarrestar los vectores negativos de la Ventaja Competitiva (-4.4) y la Estabilidad del Ambiente (-2.6), demostrando que la organización posee las condiciones óptimas para ejecutar estrategias de crecimiento expansivo y alianzas turísticas durante los periodos de alta afluencia. Complementando este análisis, la evaluación de la cartera de negocios a través de la Matriz del Boston Consulting Group (BCG) permitió clasificar la mezcla de servicios tomando como base el incremento de las ventas totales del restaurante, las cuales pasaron de

$1,250,000 en 2023 a $1,540,000 en 2024. Bajo esta herramienta, los camarones y el servicio de hotel se consolidaron en el cuadrante de productos "Estrella" por su alto crecimiento y participación en el mercado, mientras que los cócteles y las cabañas se ubicaron como productos "Vaca", actuando como los principales generadores estables de flujo de efectivo. Por su parte, la mojarra frita, la alberca y el kayak se catalogaron como productos "Interrogante" debido a su elevada tasa de crecimiento pero baja participación relativa, y finalmente el zoológico y el camping se situaron en el cuadrante "Perro", identificándose como servicios que aportan diferenciación familiar pero que exigen una rigurosa optimización de costos para no absorber las utilidades del negocio.

Finalmente, los resultados aplicados al despliegue operativo mediante la metodología Hoshin Kanri permitieron traducir las metas globales de largo plazo en objetivos funcionales medibles a un año con responsables específicos. Entre los logros de esta planeación destacan la fijación de una meta del 50% de incremento en la asistencia de clientes entre semana mediante el diseño de promociones y paquetes como "Riverside Weekend", un objetivo del 25% en la optimización de costos mediante convenios directos con pescadores y agricultores de la región, y una meta de reducción del 25% en los tiempos de entrega de alimentos a través de la reorganización de los procesos en cocina. Asimismo, se obtuvo como resultado un Plan de Contingencia formalizado y validado que blinda financieramente a la organización mediante el establecimiento de un fondo de reserva de emergencia equivalente al 10% del costo anual de mantenimiento, y operativamente a través de protocolos claros de monitoreo meteorológico y acciones correctivas inmediatas, garantizando la continuidad del negocio y el mantenimiento de un margen de utilidad bruta del 65% en platos clave frente a las contingencias del entorno costero veracruzano.

CONCLUSIÓN

Se concluye que el diseño e implementación de este plan integral constituye una herramienta indispensable para la transición del complejo turístico desde un modelo de administración empírico y reactivo hacia una gestión institucionalizada y competitiva con base científica. Los hallazgos derivados del diagnóstico situacional demuestran que, si bien la organización cuenta con ventajas competitivas sólidas respaldadas por su ubicación privilegiada, instalaciones acogedoras y una destacada oferta gastronómica y de aventura, aún presenta vulnerabilidades operativas internas que limitan su eficiencia y rentabilidad general. No obstante, el sobresaliente desempeño del complejo en el entorno externo frente a sus competidores regionales y la determinación de una postura estratégica de tipo agresiva validan la viabilidad de ejecutar acciones de crecimiento expansivo y alianzas comerciales

estratégicas, aprovechando al máximo la solidez de sus unidades "Estrella" y "Vaca" (como el hotel, las cabañas y la venta de camarones) para financiar y potenciar los servicios en desarrollo.

Asimismo, la aplicación de metodologías estructuradas de despliegue como Hoshin Kanri ha permitido descentralizar los objetivos globales de largo plazo, transformándolos en metas anuales medibles y alcanzables para cada área funcional, lo que garantiza que departamentos críticos como cocina, mantenimiento, marketing y recursos humanos operen de manera coordinada y bajo un estricto sistema de indicadores clave de desempeño. Finalmente, la integración de un plan de contingencia formal y un fondo de reserva financiero dota a la empresa de la resiliencia necesaria para mitigar de forma proactiva las presiones inflacionarias y los riesgos hidrometeorológicos propios de la costa veracruzana, asegurando la continuidad del negocio. En suma, se confirma la hipótesis de trabajo al demostrar que un enfoque estratégico estructurado es el camino idóneo para que el complejo turístico minimice el impacto de la estacionalidad, optimice sus recursos, garantice la seguridad y excelencia en el servicio, y consolide con éxito su liderazgo competitivo en la región de Chachalacas–La Antigua.

REFERENCIAS

Alves, J., Lourenço, M., & Santos, J. (2019). Horizontal diversification in costal tourism destinations: A strategy for sustainable growth. *Journal of Hospitality and Tourism Research*, *43*(6), 845-867.

Baum, T., & Hagen, L. (2015). Responses to seasonality in tourism: Strategy and tactics. *International Journal of Tourism Research*, *17*(3), 209-218.

Buhalis, D., & Law, R. (2018). Progress in information technology and tourism management: 20 years on and 10 years after the Internet—The state of eTourism research. *Tourism Management*, *29*(4), 609-623.

Camisón, C., & Villar-López, A. (2014). Organizational innovation as an enabler of technological innovation capabilities and firm performance. *Journal of Business Research*, *67*(3), 2891-2902.

Cisneros-Martínez, J. D., & Fernández-Morales, A. (2015). Cultural tourism as a strategy to mitigate tourism seasonality in coastal destinations. *Journal of Travel Research*, *54*(4), 548-560.

David, F. R. (2013). *Conceptos de Administración Estratégica* (14ª ed.). México: Pearson Educación.

David, F. R., & David, F. R. (2016). *Strategic Management: A Competitive Advantage Approach, Concepts and Cases* (16th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.

Dawson, M., Abbott, J., & Shoemaker, S. (2011). The Hospitality Culture Scale: Development and initial validation. *International Journal of Hospitality Management*, *30*(2), 439-447.

Dwyer, L., & Kim, C. (2014). Destination Competitiveness: A Model and Indicators. *Current Issues in Tourism*, *6*(5), 369-414.

García-Sánchez, I. M., Rodríguez-Ariza, L., & Frías-Aceituno, J. V. (2019). The role of strategic control systems and KPIs in corporate sustainability and operational safety. *Business Strategy and the Environment*, *28*(5), 712-729.

Guzmán-Hernández, T., & Martínez-Ramos, M. (2020). Vulnerabilidad socioambiental y resiliencia de las empresas turísticas en el litoral del Golfo de México ante el cambio climático. *Pasos: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, *18*(2), 241-256.

Helms, M. M., & Nixon, J. (2010). Exploring SWOT analysis - where are we now? A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*, *3*(3), 215-239.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill Education.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2005). The Balanced Scorecard: Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, *83*(7), 172-180.

Kukanja, M., Gomezelj Omerzel, D., & Podlogar, M. (2017). Evolving business models in the hospitality industry: A diversification perspective. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, *29*(10), 2544-2563.

Porter, M. E. (2008). The Five Competitive Forces That Shape Strategy. *Harvard Business Review*, *86*(1), 78-93.

Saavedra García, M. L., & Almeida Gutiérrez, M. E. (2020). La planeación estratégica en las micro, pequeñas y medianas empresas turísticas: un estudio empírico. *Revista de Investigación en Ciencias Administrativas*, *22*(44), 45-68.

Serrano-Giles, G., Mendoza-González, G., & Martínez, M. L. (2021). El turismo de aventura y ecoturismo en los sistemas de dunas costeras de Veracruz: Impactos y oportunidades de gestión. *Investigaciones Geográficas*, (*105*), 1-17.

Sainaghi, R. (2010). Hotel performance: State of the art. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, *22*(7), 920-952.

Tennant, C., & Roberts, P. (2011). Hoshin Kanri: a tool for strategic alignment and continuous improvement. *Total Quality Management & Business Excellence*, *12*(3), 287-295.

Wheeler, T. L., Hunger, J. D., Hoffman, A. N., & Bamford, C. E. (2018). *Strategic Management and Business Policy: Globalization, Innovation and Sustainability* (15th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.



ISBN: 978-607-5893-89-1