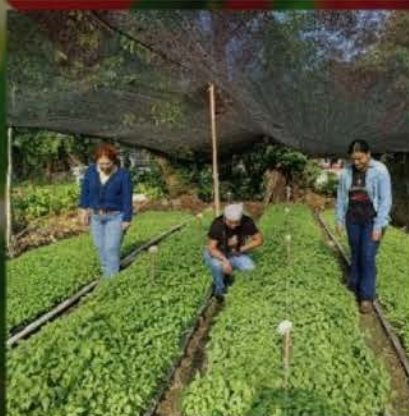


AGROINNOVACIÓN SUSTENTABLE

ESTRATEGIAS PARA EL FUTURO RURAL
Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

COORDINADORES

MERCEDES MURAIRA SOTO
ROBERTO PANUNCIO MORA SOLIS
ENRIQUE ANDRIO ENRÍQUEZ



ISBN: 978-607-5893-52-5



9 786075 893525

COORDINADORES

Mercedes Muraira Soto, Roberto Panuncio Mora Solis, Enrique Andrio Enríquez

AUTORES

Abraham Aldaco Martínez, Adolfo Alavez Aragon, Alan Enrique Angulo Valenzuela, Antonio Pérez Chicatto, Carlos Elotlan Rivera, Cesar Estrada Urbina, Daniel Utrera López, Diana Aracelly Loria Arjona, Dulce Yamira Cuevas Hernández, Emanuel Pérez López, Félix David Murillo Cuevas, Francisco de Asis Chuc Pech, Francisco Javier Gómez González, Gloria Pérez Garmendia, Griselda Rodríguez Agustín, Guadalupe Pérez Cervantes, Héctor Gabriel Medina Lagunes, Héctor Miguel Escobar Molina, Hortensia Eliseo Dantés, Ignacio Garay Peralta, Ixchel Soriano Martínez, Jacel Adame García, Janette Itzel Sánchez Miguel, Jazmín Balderrabano Briones, Jazmín Villegas Narváez, Jesús Alejandro Ríos Solís, Jesús Herrera Alarcón, José Alfredo Villagómez Cortés, José Antonio Fernández Viveros, José Satsumi López Morales, Juana Fabiola Jiménez Flores, Julia Mercedes Canul Dzul, Karen Daheli Madrigal Pérez, Karla Valeria Martínez Morales, Kennia Cosme Feliciano, Kenny Ortiz Ochoa, Lázaro Gabriel Trujillo Juárez, Manuel Villarruel Fuentes, Marco Antonio Díaz Ramos, Marco Antonio Pascual Moreno, María de los Ángeles Acosta Soberano, María Fernanda Aburto Pérez, Mercedes Muraira Soto, Mirna Yamili Yam Puc, Montserrat Acosta Cadenas, Nelly del Rosario Chan Perera, Ramiro Sánchez Uranga, Raymundo Salvador Gudiño Escandón, Roberto Panuncio Mora Solís, Román Gonzales Pérez, Rubén Sánchez Trejo, Sara Márquez Bueno, Sergio Rodriguez Roy, Thelma Esther Barradas Villar, Víctor Hugo Berdón Carrasco, Yadira Rivera González, Youssef Utrera Vélez

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2025



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

ISBN: 978-607-5893-52-5



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 28/11/2025
ISBN 978-607-5893-52-5

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 **“AGROINNOVACIÓN SUSTENTABLE. ESTRATEGIAS PARA EL FUTURO RURAL Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA”** 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 28 de noviembre de 2025

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 **“AGROINNOVACIÓN SUSTENTABLE. ESTRATEGIAS PARA EL FUTURO RURAL Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA”** registrado con el **ISBN 978-607-5893-52-5** fue publicado por nuestro sello editorial con fecha de aparición del 28 de noviembre de 2025 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra política 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

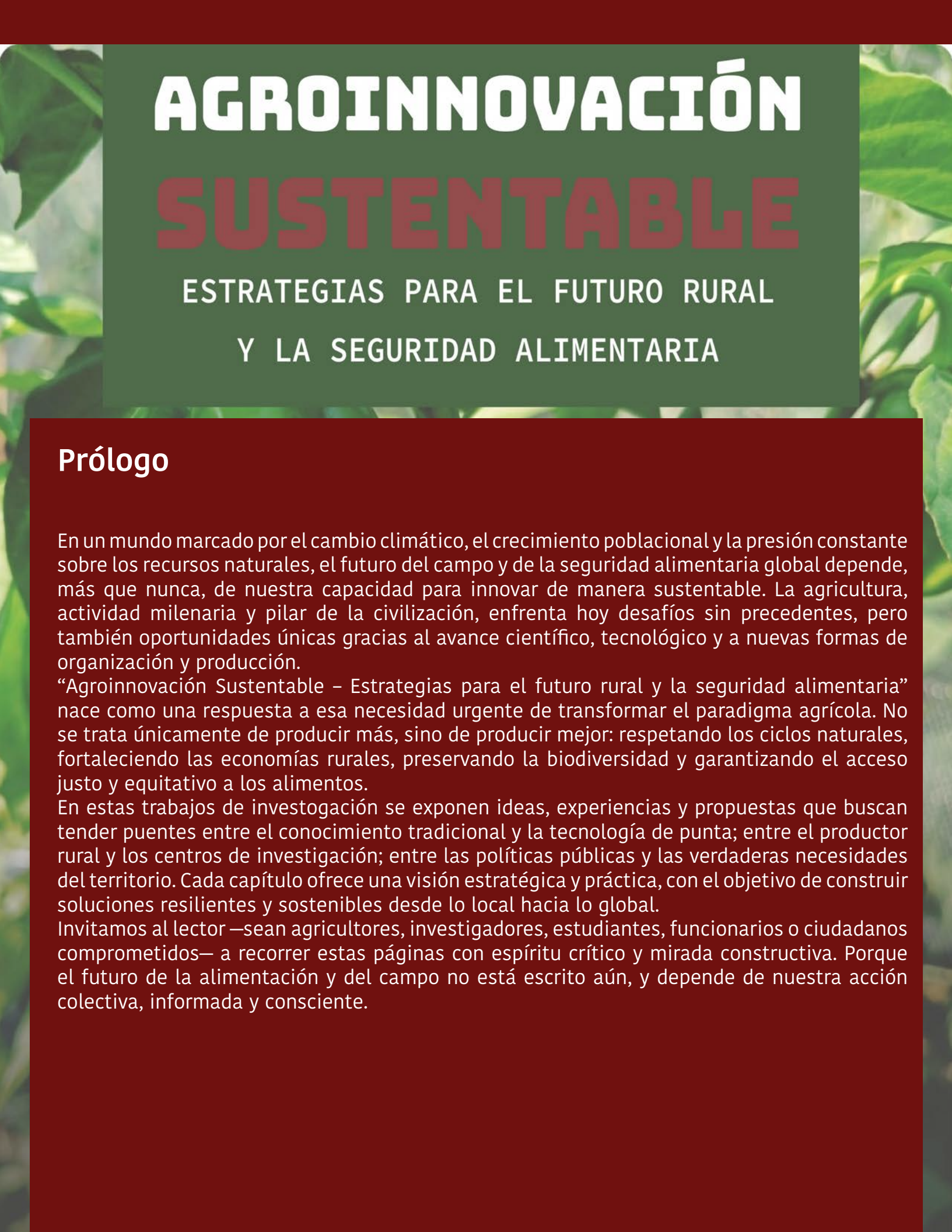
Director Editorial

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



AGROINNOVACIÓN SUSTENTABLE

ESTRATEGIAS PARA EL FUTURO RURAL
Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Prólogo

En un mundo marcado por el cambio climático, el crecimiento poblacional y la presión constante sobre los recursos naturales, el futuro del campo y de la seguridad alimentaria global depende, más que nunca, de nuestra capacidad para innovar de manera sustentable. La agricultura, actividad milenaria y pilar de la civilización, enfrenta hoy desafíos sin precedentes, pero también oportunidades únicas gracias al avance científico, tecnológico y a nuevas formas de organización y producción.

“Agroinnovación Sustentable – Estrategias para el futuro rural y la seguridad alimentaria” nace como una respuesta a esa necesidad urgente de transformar el paradigma agrícola. No se trata únicamente de producir más, sino de producir mejor: respetando los ciclos naturales, fortaleciendo las economías rurales, preservando la biodiversidad y garantizando el acceso justo y equitativo a los alimentos.

En estas trabajos de investigación se exponen ideas, experiencias y propuestas que buscan tender puentes entre el conocimiento tradicional y la tecnología de punta; entre el productor rural y los centros de investigación; entre las políticas públicas y las verdaderas necesidades del territorio. Cada capítulo ofrece una visión estratégica y práctica, con el objetivo de construir soluciones resilientes y sostenibles desde lo local hacia lo global.

Invitamos al lector—sean agricultores, investigadores, estudiantes, funcionarios o ciudadanos comprometidos— a recorrer estas páginas con espíritu crítico y mirada constructiva. Porque el futuro de la alimentación y del campo no está escrito aún, y depende de nuestra acción colectiva, informada y consciente.

ÍNDICE

POTENCIAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Thelma Esther Barradas Villar

Raymundo Salvador Gudiño Escandón

José Alfredo Villagómez Cortés

1

EVALUACIÓN DE RETENEDORES DE HUMEDAD EN Carica papaya L. EN LA UMI-ITUG

Youssef Utrera Vélez

Griselda Rodríguez Agustín

Jazmín Balderrabano Briones

17

EVALUACIÓN DE 2 VARIEDADES DE CHILE HABANERO A LA ADAPTACIÓN EDAFOCLIMÁTICA EN LA UMI-ITUG

Youssef Utrera Vélez

Griselda Rodríguez Agustín

Carlos Enotlan Rivera

27

DIVERSIDAD DEL ORDEN SQUAMATA EN UNA SELVA SECUNDARIA AL NORTE DE OAXACA, MÉXICO

Yadira Rivera González

Ixchel Soriano Martínez

Jesús Alejandro Ríos Solís

37

IMPACTO DEL USO DE UN BIOESMULANTE MICROBIANO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN MACROTÚNEL

Félix David Murillo Cuevas

Jacel Adame García

José Antonio Fernández Viveros

46

DOSIFICACIÓN DE HOJARASCA Y EXCRETAS OVINAS COMO FUENTE ALIMENTICIA DE *Eisenia foetida*

Mercedes Muraira Soto

Dulce Yamira Cuevas Hernández

Rubén Sánchez Trejo

Roberto Panuncio Mora Solís

Emanuel Pérez López

58

REQUISITOS MÍNIMOS QUE UNA NANOEMPRESA DE HORTALIZAS DEBE CUMPLIR PARA SER PROVEEDOR DE LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA EN VALLADOLID, YUCATÁN, MÉXICO

Belén Buccio Mendoza

Francisco de Asis Chuc Pech

Julia Mercedes Canul Dzul

65

ÍNDICE

LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) COMO AGENTE BIOINDICADOR DE METALES PESADOS EN EL RÍO ACTOPAN

Sara Márquez Bueno

Jazmín Villegas Narváez

Kenny Ortiz Ochoa

Lázaro Gabriel Trujillo Juárez

79

DIVULGACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE HUERTOS AGROECOLÓGICOS MODELO EN ESCUELAS DE EDUCACIÓN BÁSICA

Guadalupe Pérez Cervantes

María de los Ángeles Acosta Soberano

Marco Antonio Díaz Ramos

Kennia Cosme Feliciano

María Fernanda Aburto Pérez

89

MANEJO NUTRIMENTAL DE CULTIVOS MEDIANTE SENSORES NPK: UNA ESTRATEGIA TECNOLÓGICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA EN LA UMI-ITUG

Griselda Rodríguez Agustín

Youssef Utrera Vélez

Jazmín Balderrabano Briones

100

DEGRADACIÓN DE *Pleurotus djamor* EN 4 SUSTRATOS AGRÍCOLAS EN LA LOCALIDAD DE ÚRSULO GALVÁN, VER.

Juana Fabiola Jiménez Flores

Daniel Utrera López

Ramiro Sánchez Uranga

Héctor Miguel Escobar Molina

Montserrat Acosta Cadenas

117

GENERACIÓN DE EMBRIONES SOMÁTICOS A PARTIR DE EMBRIONES CIGÓTICOS DE LA ORQUÍDEA MYRMECOPHILA (*Myrmecophila tibicinis* (Bateman Ex Lindl.) Rolfe)

Daniel Utrera López

Juana Fabiola Jiménez Flores

Héctor Miguel Escobar Molina

Román Gonzales Pérez

Marco Antonio Pascual Moreno

131

EVALUACIÓN DE LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Tithonia diversifolia* MEDIANTE SU REPRODUCCIÓN POR ESQUEJES

Karla Valeria Martínez Morales

Jesús Herrera Alarcón

Ignacio Garay Peralta

Manuel Villarruel Fuentes

141

ÍNDICE

COSTOS OPERATIVOS DE GRUPOS DE COSECHA DE CAÑA (*Saccharum Officinarum*) EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

Antonio Pérez Chicatto

Víctor Hugo Berdón Carrasco

José Alfredo Villagómez Cortés

148

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO RENOVABLE AISLADO IMPLEMENTADO EN SONORA, MÉXICO

Alan Enrique Angulo Valenzuela

José Satsumi López Morales

Francisco Javier Gómez González

165

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO EN EL SECTOR HOTELERO DE VALLADOLID, YUCATÁN: DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS

Diana Aracelly Loria Arjona

Nelly del Rosario Chan Perera

Mirna Yamili Yam Puc

176

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCION DE CHILE HABANERO A CIELO ABIERTO Y EN MACROTUNEL

Roberto Panuncio Mora Solís

Janette Itzel Sanchez Miguel

Adolfo Alavez Aragon

Abraham Aldaco Martinez

Sergio Rodriguez Roy

187

POTENCIAL DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ

Thelma Esther Barradas Villar¹

Raymundo Salvador Gudiño Escandón²

José Alfredo Villagómez Cortés³

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue identificar el potencial de la agricultura de precisión para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la zona centro del estado de Veracruz. Se diseñó y aplicó una encuesta a 36 productores de caña y se entrevistaron expertos en agricultura de precisión. La mayoría de los productores emplean sistemas tecnológicos semi-intensivos (44.4%) e intensivos (40.7%) y siembran superficies inferiores a 20 ha (60%). De seis variedades de caña de azúcar que usan, predominan la 69-290 (33%) y la ITVMEX 92-1424 (33%). Para el riego, se usan casi en proporciones semejantes: aspersión, cañón, rodado, goteo y temporal. La mitad de los respondientes reportaron ingresos inferiores a \$60,000 ha⁻¹ con rendimientos inferiores a 80 t ha⁻¹. Fueron significativas las correlaciones entre rango de edad y variedad de caña sembrada ($\rho = -0.489$, $P=0.029$) y superficie sembrada con tipo de riego ($\rho = 0.446$, $P=0.049$). Del total de implementos usados, el 65% son propiedad. Se concluye que el tamaño de las unidades de producción no influye en la cantidad de maquinaria o equipo que posee el productor, de modo que no es procedente ofrecerles paquetes tecnológicos de agricultura de precisión acordes con sus necesidades particulares.

Palabras clave: agricultura 4.0, agronegocios, automatización, rentabilidad, *Saccharum officinarum*, tecnología.

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the potential of precision agriculture for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) cultivation in the central region of the state of Veracruz. A survey was designed and administered to 36 sugarcane producers, and experts in precision agriculture were interviewed. The majority of producers employ semi-intensive (44.4%) and intensive (40.7%) technological systems and cultivate areas of less than 20 ha (60%). Of the six sugarcane varieties they

¹ Práctica profesional privada zS19008751@estudiantes.uv.mx

² Universidad Veracruzana. rgudino@uv.mx

³ Universidad Veracruzana. avillagomez@uv.mx

use, 69-290 (33%) and ITVMEX 92-1424 (33%) predominate. Irrigation methods are used in almost equal proportions: sprinkler, sprinkler, furrow, drip, and rainfed. Half of the respondents reported incomes of less than \$60,000 ha⁻¹ with yields of less than 80 t ha⁻¹. Significant correlations were found between age range and sugarcane variety planted ($\rho = -0.489$, $P = 0.029$) and between planted area and irrigation type ($\rho = 0.446$, $P = 0.049$). Of all the implements used, 65% were owned by the producers. It is concluded that the size of the production units does not influence the amount of machinery or equipment owned by the producer; therefore, it is not appropriate to offer them precision agriculture technology packages tailored to their specific needs.

Keywords: Agriculture 4.0, agribusiness, automation, profitability, *Saccharum officinarum*, technology.

INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión mide y maneja la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental, a través de un grupo de tecnologías que permite aplicar insumos agrícolas, tales como fertilizantes, semillas o plaguicidas, entre otras, en forma variable dentro de un cultivo, de acuerdo con sus requerimientos y/o potencial productivo (Mosquera Guerrero, 2013; Ortega y Flores, 2019.) Esta innovadora metodología incluye una variedad de tecnologías de vanguardia como: sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica, sensores remotos, imágenes aéreas y satelitales, tecnología de riego por precisión, maquinaria agrícola autónoma, drones multiespectrales, maquinaria con tecnología de automatización y software especializado para la gestión agrícola (Rivera Hernández, 2021). Estas herramientas están equipadas con receptores, estaciones base, sistemas de guía, dispositivos de mapeo y software de análisis y gestión agrícola, y proporcionan a los agricultores información geoespacial precisa para tomar decisiones fundamentadas (Best *et al.*, 2014). El software actúa como una plataforma de gestión de datos que centraliza la información colectada de diversas fuentes y la presenta de manera accesible para la toma de decisiones; así, al recopilar datos históricos y actuales se pueden predecir condiciones futuras y optimizar la planeación agrícola (Salas González *et al.*, 2013). El software vincula la información administrativa, con la productiva y contable para permitir al productor visualizar por completo el panorama de su cultivo (Khanna, 2021).

La agricultura de precisión brinda soluciones para la modernización agrícola, contribuye a mejorar el rendimiento productivo agrícola y trae consigo una gestión comercial adecuada en los procesos que engloba el manejo de los cultivos a través del uso de tecnologías como el GPS y las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs). Con base en estas herramientas, la agricultura de precisión permite establecer prioridades para cada tipo de productor, así como identificar los elementos que

deben considerarse al diseñar y aplicar estrategias de planeación en sus unidades productivas (Griffin y Lowenberg-DeBoer, 2005; Carpio Santos *et al.*, 2018; Griffin *et al.*, 2018; Godoy Navarro, 2023).

Los drones son mecanismos aéreos equipados con cámaras y sensores que pueden capturar imágenes detalladas y en tiempo real de los campos (León Rodríguez *et al.*, 2023). El uso de drones trae consigo muchos beneficios para el manejo agrícola: monitoreo de los cultivos en sus distintas etapas; monitoreo de información sobre la superficie transitada y recopilación de datos como: niveles de humedad, temperatura o tasa de crecimiento de los cultivos; localización temprana y tratamiento de plagas que pueden arruinar la cosecha; acceso a zonas difíciles, con orografía accidentada; ahorro en productos químicos para el desarrollo y cuidado del cultivo y menor contaminación del subsuelo; fumigación de forma focalizada en zonas que lo requieran, evitando las áreas sanas; irrigación de zonas con difícil acceso (Parra Gaviria, 2017). Durante la última década, en la literatura típica sobre caña de azúcar, apareció el término "UAV" (*Unmanned Aerial Vehicles*, Vehículos aéreos no Tripulados) para referirse a los drones y otros equipos que son capaces de navegar por el campo de forma autónoma y semiautónoma bajo el control de un operador asistente (Barbosa *et al.* 2022). La operación de drones puede aumentar la rentabilidad de la producción de caña de azúcar con el fin de resolver los mayores desafíos del sector, como lograr la seguridad alimentaria y energética (Urquilla Castaneda, 2023).

Los sistemas de aeronaves no tripuladas pueden impulsar una agricultura de precisión y digital transformadora, con uso para la teledetección y la gestión en campo (Barbosa *et al.* 2022). Los UAV son flexibles y resultan útiles para capturar en forma remota la variabilidad espacio-temporal con precisión milimétrica y tomar decisiones tempranas en el momento y lugar adecuados, ya sea para mapear, replantar o fertilizar áreas. Las imágenes multiespectrales obtenidas mediante vehículos aéreos no tripulados (VANT) ayudan a predecir el contenido de nitrógeno foliar de la caña de azúcar (Kumarasiri *et al.* 2024). También se pueden rociar y distribuir bioagentes entomopatógenos (p. ej., *Cotesia flavipes* y *Thricogramma* spp.) en el campo donde sea necesario para suprimir plagas económicamente relevantes (p. ej., *Diatraea saccharalis*, *Mahanarva fimbriolata*, virus del mosaico de la caña de azúcar y malezas) de forma más precisa y ambientalmente responsable que con los enfoques tradicionales (sin necesidad de transitar ni tocar el objeto) (Zhang *et al.* 2020). La aspersión aérea por dron tiene las ventajas de alta eficiencia y flexibilidad. Para mejorar la calidad de la caña, se pueden aplicar desde el aire maduradores sobre los campos. La aprobación comercial de los drones para asperjar polvos sobre cultivos crea oportunidades para la maduración temprana de los mismos (Van Heerden *et al.*, 2025). Es posible también predecir la fecha de la cosecha y la productividad de la caña de azúcar mediante un radar de imágenes que estima la biomasa aérea (Oré *et al.*, 2022).

Tanut *et al.* (2021) desarrollaron un modelo muy confiable para pronosticar el rendimiento de la caña de azúcar, el cual integra diversos datos ambientales colectados mediante encuestas a ingenios azucareros y a agencias gubernamentales con el análisis de imágenes aéreas de campos de caña de azúcar obtenidas con drones.

Por su parte, los satélites proveen imágenes a mayor escala que pueden usarse para monitorear grandes áreas agrícolas y detectar cambios a lo largo del tiempo. A su vez, los vehículos y maquinaria autónomos pueden operar sin intervención humana, están equipados con tecnología GPS y sensores, realizan tareas específicas en el cultivo de caña de azúcar, mejoran la eficiencia y reducen errores (Loures *et al.*, 2020).

La supervisión y manejo de cultivos a través de tecnologías avanzadas como drones y sensores remotos, permite a los agricultores identificar tempranamente problemas como plagas, enfermedades o deficiencias nutricionales. La adopción de estas herramientas y tecnologías brinda una capacidad de respuesta ágil y precisa, disminuye las pérdidas y optimiza los rendimientos (Silva *et al.*, 2010). A nivel mundial, el empleo de la agricultura de precisión se ha expandido gracias a marcas bien posicionadas en el mercado como: John Deere, Massey Ferguson, Caterpillar, Kubota, y DJI Agriculture, las cuales se enfocan en el desarrollo de tecnología de precisión y en la aplicación de los avances e innovaciones tecnológicas (Regalado Negrete, 2006).

En el contexto del cultivo de caña de azúcar, la alta demanda de mano de obra en el sector agrícola hace que la mecanización sea esencial para garantizar una producción eficiente y rentable, definiendo a esta como retorno sobre la inversión o utilidad (Aguilar Rivera *et al.*, 2015). La maquinaria agrícola automatizada agiliza tareas como la siembra, cosecha y el transporte de la caña, supera ampliamente la velocidad y eficiencia del trabajo manual y facilita la aplicación precisa y uniforme de insumos agrícolas, con lo que contribuye a optimizar los recursos por la exactitud en la aplicación de insumos, reduce los costos operativos y disminuye el impacto ambiental (Marote, 2010). No obstante, existen retos para la adopción generalizada de la agricultura de precisión y de la mecanización sustentable en México, como la disponibilidad de la tecnología y la capacitación de los agricultores (Rosales-Soto y Arechavala-Vargas, 2020). Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue identificar el potencial de la agricultura de precisión para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la zona centro del estado de Veracruz, México.

METODOLOGÍA

Localización

Esta investigación se llevó a cabo en la zona centro del estado de Veracruz e incluyó productores que residen en los municipios de La Antigua, Boca del Río, Cotaxtla, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Paso de Ovejas, Puente Nacional, Soledad de Doblado, Tlalixcoyan, Tierra Blanca, Úrsulo Galván y Veracruz.

Diseño de la investigación

La población objetivo de estudio son productores de caña en el estado de Veracruz. Esta población incluye tanto pequeños agricultores familiares como grandes productores comerciales que se dedican al cultivo de la caña de azúcar. Se elaboró un cuestionario estructurado, el cual incluyó preguntas abiertas y cerradas diseñadas para obtener información detallada sobre diversos aspectos. El instrumento se administró tanto en persona como virtualmente a través de la plataforma *Google forms* durante la feria original John Deere 2023, en la ciudad de Tres Valles, evento que centralizó a productores de caña de la zona, a los cuales se les explicó el propósito del estudio y se solicitó su consentimiento informado antes de proceder a la recolección de datos. También se entrevistaron especialistas en venta de equipos e implementos de agricultura de precisión de una empresa distribuidora de la marca John Deere, de los cuales se obtuvo información sobre el empleo de cada implemento y/o equipo en cada una de las fases del cultivo de caña de azúcar. La entrevista a especialistas del rubro permitió conocer la tipología relacional de productores que ellos utilizan con base en la superficie que siembran con caña de azúcar en la región, y que se utilizó como base para este estudio: 1-30 ha (pequeños productores), 31-50 ha (medianos productores), y más de 50 ha (grandes productores).

Análisis y presentación de resultados

Una vez recopilados los datos de la encuesta, se realizaron tablas de doble entrada las cuales permitieron comparar los resultados de dos variables a la vez y visualizar la relación entre las mismas. Para algunas variables cualitativas se calculó el coeficiente de *correlación de Spearman*, $\rho(r)$, una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables de interés (Di Rienzo *et al.* 2005; Restrepo y González, 2007) con la ayuda del programa Minitab versión 19 (<https://www.minitab.com>).

Con base en los ingresos y los costos totales asociados con cada inversión, se calculó la rentabilidad utilizando la siguiente fórmula: $\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Ingresos totales} - \text{Costos totales}}{\text{Costos totales}}$. También se determinó el Rendimiento sobre Inversión (RPI) mediante la fórmula; $\text{ROI} = \frac{\text{Utilidad o rendimiento obtenido} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100$, para cada combinación de equipos (Navarro, 2016). Para

determinar el escenario más favorable de inversión para cada rango de superficie, se analizaron los datos proporcionados y se calculó el ROI (Cuevas Villegas, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características sociodemográficas

Participaron 36 productores de caña de azúcar del centro del estado de Veracruz, todos de sexo masculino. La mayor parte poseen licenciatura (60%) o preparatoria (22.9%), y con menor frecuencia posgrado (5.70%) o secundaria (11.4%). Según INEGI (2019), el nivel de escolaridad de los productores agropecuarios en Veracruz es: primaria (57.1%), secundaria (16.8%), preparatoria (4.6%), licenciatura (5.3%), o carece de estudios (14.8%), por lo que se aprecia que el nivel educativo de los encuestados supera el promedio estatal. La mayoría tiene entre 46 y 55 años (37.1%) y entre 56 y 65 años (34.3%); sin embargo, no se encontró relación entre edad y escolaridad ($\rho = 0.105$, $P=0.659$). Los productores agropecuarios en Veracruz entre 46 y 60 años son el grupo predominante. Las distintas generaciones poseen habilidades, conocimientos y experiencias diferentes, por lo que identificar el grupo etario predominante es crítico para planear el mejor abordaje que promueva la adopción de tecnologías agropecuarias. Por lo regular, los agricultores más jóvenes suelen ser tecnológicamente más aptos y abiertos a la innovación y a la adopción de prácticas agrícolas modernas, mientras que los agricultores mayores son más conservadores (Salas González *et al.*, 2013). Es un hecho conocido que el aumento en el uso de tecnología contribuye a la productividad (Hernández Becerril, 2022). No se identificó relación entre edad y volumen de producción ($\rho = -0.051$, $P=0.831$) ni entre escolaridad y producción ($\rho = 0.316$, $P=0.175$). La mayoría siembra superficies inferiores a 20 ha (60%), pero también se siembran 21-30 ha (20%); y en mucho menor proporción, 31-40 ha (2.85%), 41-50 ha (2.85%) y más de 50 ha. No hubo relación entre la edad de los participantes y el tamaño de la superficie sembrada ($\rho = -0.090$, $P=0.707$), ni entre escolaridad y superficie de caña de azúcar sembrada ($\rho = -0.305$, $P=0.191$).

Variedades de caña usadas

Los participantes en el estudio siembran cinco variedades de caña de azúcar: MEX69-290 (33%), ITVMEX 92-1424 (33%) y en menor grado CP-72086 (2.85%), MEX 79-431 (2.85%) y RD 75-11 (2.85%), aunque más de una cuarta parte de los participantes no identifican la variedad de caña de azúcar que siembran. CONADESUCA (2016) menciona que, a nivel nacional, las variedades preferidas para siembra son: CP-72086 (31%), Mex-69-290 (26 %), e ITV 92-1424 (6%), mientras que otras variedades abarcan 29%. La correlación entre rango de edad y variedad de caña sembrada fue negativa y significativa ($\rho = -0.489$, $P=0.029$), lo que indica que, al reducirse la edad de los productores,

estos se inclinan por una variedad de caña de azúcar más productiva y/o con mejores características de adaptabilidad. La correlación entre escolaridad y variedad de caña sembrada ($\rho = -0.080$, $P=0.739$), y entre escolaridad y superficie sembrada ($\rho = 0.266$, $P=0.257$) fueron bajas y no significativas. Los productores que usaron las variedades MEX69-290 y ITV- MEX 290-1424 tuvieron mayor ingreso neto (hasta cerca de \$100,000 ha⁻¹), si bien es cierto que varios productores que recurrieron a esta variedad obtuvieron menos de \$40,000 ha⁻¹. MEX 79-431 y RD75-11 proporcionaron ingresos netos intermedios (<\$80,000 ha⁻¹), en tanto que los logrados con CP72086 y RD 91 fueron bajos. La correlación entre variedad de semilla usada y rendimiento resultó baja y no significativa ($\rho = -0.383$, $P=0.095$).

Fuente de agua

La mayoría de los productores encuestados recurre al riego por goteo (10/36%), seguido de la aspersión (22.2%), por cañón (22.2%) y riego rodado (8.3%), o bien dependen del temporal (16.7%). No se apreció relación entre grupos etarios y tipo de riego usado ($\rho = -0.009$, $P=0.971$), entre escolaridad y tipo de riego ($\rho = -0.236$, $P=0.317$), ni entre variedad de semilla usada y tipo de riego ($\rho = -0.374$, $P=0.104$). En México, los productores prefieren el riego por goteo ya que permite un sistema de fertirrigación en el que los fertilizantes se diluyen en el agua y se eficientiza su distribución al cultivo. El sistema de riego por goteo es el sistema más efectivo en el cultivo de caña de azúcar, pues puede aumentar un 40% el rendimiento en campo, e incrementa la eficiencia en el uso del agua y de los fertilizantes, en comparación con el riego por “gravedad” (Tapia Vargas *et al.*, 2004). La relación entre la cantidad de agua aplicada y el rendimiento en el cultivo es la base para optimizar este recurso, pudiéndose emplear según la disponibilidad de agua. El adoptar una estrategia de riego altamente eficiente reduce entre 21.6% y el 46.8% el agua requerida, aumenta la productividad del agua entre 17% y 32%, y mejora la relación beneficio-costos hasta en 3.4%. Estos hallazgos subrayan la importancia económica de implementar esta estrategia con base en sistemas de riego (González Robaina *et al.*, 2015). Los productores que dependen del temporal tuvieron un rendimiento muy variable que fluctuó entre 45-100 t ha⁻¹. Los productores que riegan con cañón obtuvieron rendimientos mayores que los que recurrieron a riego por goteo, rodado o por aspersión. La correlación entre riego y rendimiento resultó baja y no significativa ($\rho = -0.190$, $P=0.423$).

Rendimiento productivo

El rendimiento del cultivo de caña en la región en estudio oscila entre 40 y 120 t ha⁻¹ con una distribución bastante dispersa entre los productores, así 10 de ellos dicen cosechar más de 100 t ha⁻¹, nueve 61 y 70 t ha⁻¹, y el resto diversas otras cantidades. En condiciones adecuadas (suelo rico, sistema de riego, variedad de semilla y manejo agrícola) el rendimiento del cultivo de caña de azúcar supera las 100 toneladas ha⁻¹ (Tapia Vargas *et al.*, 2004). La correlación entre superficie sembrada y

tipo de riego resultó significativa ($p = 0.446$, $P=0.049$), lo que apunta a que conforme se incrementa la superficie sembrada con caña de azúcar el productor tiende a recurrir a un sistema de riego más eficiente.

Ingresos por caña de azúcar

La mitad de los respondientes dijeron obtener ingresos inferiores a \$60,000 por hectárea, pero casi una tercera parte no respondió la pregunta; casi una cuarta parte obtuvo ingresos superiores a \$60,000, sin exceder \$100,000. La correlación entre grupo etario e ingresos por venta de caña es muy baja y no significativa ($p=0.225$, $P=0.340$). El ingreso neto (\$ ha⁻¹) por el cultivo de la caña entre los productores encuestados osciló desde \$15,00 hasta cerca de \$100,000, lo que resulta de la conjunción de varios factores: variedad de caña sembrada, tipo de suelo, densidad de siembra, manejo agronómico y técnico del cultivo, costos en que se incurre, entre otros (Ortiz-Laurel *et al.*, 2016; Rebollar *et al.*, 2017). Algunos productores no contestaron esta pregunta. La correlación entre escolaridad e ingresos netos resultó negativa y no significativa ($p=-0.099$, $P=0.676$). Mas de la mitad de los productores obtuvieron ingresos netos inferiores a \$60,000 ha⁻¹. Una alta proporción de los ingresos netos mayores a \$60,000 ha⁻¹ se lograron cuando se sembraron más de 31 ha; no obstante, hubo ocho productores que con menos de 30 ha manifestaron obtener ingresos netos superiores a \$60,000 ha⁻¹; en contraste, un productor con más de 51 ha obtuvo ingresos netos por solo \$30,000 ha⁻¹. La correlación entre superficie sembrada e ingresos netos fue muy baja y no significativa ($p = -0.083$, $P=0.729$).

La mayor cantidad de ingresos netos se obtuvo con los máximos rendimientos de caña de azúcar, aunque hubo un productor que con un rendimiento inferior a 70 t ha⁻¹ que informó un ingreso neto de \$100,000; esto se puede explicar si el productor es eficiente en el manejo de su inversión en el cultivo, o si subestimó el rendimiento que en realidad obtiene. La correlación entre rendimiento e ingresos netos fue muy baja y no significativa ($p = -0.083$, $P=0.729$).

Tabla 1. Implementos y/o equipos usados por productores de caña encuestados en la región centro del estado de Veracruz.

Implemento	Propietarios, No.	Arrendatarios, No.	Total de usuarios, No.	Costo promedio, \$
Chapeadora	19	4	23	117,900
Arado	17	7	24	169,9000
Rastra	15	4	19	288,800
Tractor	11	4	15	1'195,900
Volquetas y Jaulas	5	2	7	1200,000
Camión	5	2	7	1'000,000
Cosechadora	4	8	12	8'500,000
Dron	3	11	14	600,000
Sembradora	1	2	3	249,778
Dos o más tractores	1	0	1	Depende de la cantidad
Alzadora	0	1	1	3'794,400

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta, 2023.

Equipo utilizado

Como se aprecia en la Tabla 1, la mayoría de los productores encuestados poseen su propio equipo. Del total de implementos que mencionaron los encuestados, 65% es de su propiedad. Los implementos más mencionados fueron: arado, chapeadora, rastra y tractor. Algunos productores recurren al alquiler o maquila de equipo, principalmente de drones y en menor grado de tractor, cosechadora, arado y otros implementos. En general, los productores están bien equipados para el cultivo de la caña de azúcar.

Más de 70% de los productores poseen un tractor, chapeadora y rastra. Muy pocos tienen alzada, cosechadora, jaulas o drones. Del equipo que se utiliza para el cultivo de caña de azúcar, el 59.3% se emplea para superficies de cultivos inferiores a 30 ha, 36.05 se utiliza en superficies mayores de 50 ha y el resto, se usa en áreas entre 31 y 50 ha. En promedio, los pequeños productores emplean 7.3 piezas de equipo, los medianos 0.6 y los grandes 4.43 (Tabla 2).

Los pequeños productores alquilan con mayor frecuencia implementos y equipos para el cultivo de caña (72.2%), seguidos de quienes poseen más de 51 ha (20.37%). Los medianos productores representan la menor proporción (7.40%) (Tabla 3).

Tabla 2. Equipo utilizado en el cultivo de caña de azúcar en la zona centro de Veracruz de acuerdo con la superficie cultivada.

Equipo	Superficie cultivada, ha			Total
	0-30 (n=22)	31-50 (n=7)	Más de 50 (n=7)	
Chapeadora	13	1	5	19
Arado	11	1	5	17
Rastra	9	1	5	15
Tractor	10	1	0	11
Dos o más tractores	1	0	5	6
Volquetas o jaulas	2	0	3	5
Camión	2	0	3	5
Cosechadora	1	0	3	4
Dron	1	0	2	3
Sembradora	1	0	0	1
Alzadora	0	0	0	0
Total	51	4	31	86

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta.

Rentabilidad de los sistemas productivos y compra de equipo

Diversos factores influyen en la rentabilidad económica de la producción del cultivo: rendimiento y densidad de siembra del cultivo (Flores y Miranda, 2017); mano de obra, capital financiero y tecnología (Alanía Gutiérrez, 2023); costo de producción, ingreso y rendimiento (Cancino *et al.*, 2019).

Tabla 3. Implementos y equipos que prefieren alquilar los productores de caña en la zona centro de Veracruz.

Implementos	Superficie cultivada, ha			Total
	0-30 (n=22)	31-50 (n=7)	Más de 51 (n=7)	
Dron	11	0	7	18
Cosechadora	8	0	1	9
Arado	6	1	0	7
Tractor	3	1	0	4
Chapeadora	3	1	0	4
Rastra	3	1	0	4
Sembradora	2	0	2	4
Camión	2	0	0	2
Volquetas o jaulas	1	0	0	1
Dos o más tractores	0	0	1	1
Total	39	4	11	54

Fuente: Elaboración propia con datos de encuesta.

En la rentabilidad también intervienen otros factores como: superficie sembrada, variedad utilizada, tipo de suelo, relieve del suelo, riego empleado, cantidad y calidad de los insumos usados (Schimmelpfennig, 2016), así como las decisiones tomadas por el productor como: momento de siembra, de aplicación de los insumos y de zafra (Rebollar *et al.*, 2017). Los pequeños y medianos productores que participaron en este estudio tuvieron ingresos que fluctuaron entre \$15,000 y \$100,000 con rendimientos entre 55 y 100 t ha¹. Algunos obtuvieron un ROI positivo, otros no. No se apreció ninguna relación entre el rendimiento obtenido y los ingresos logrados, ni con la cantidad y complejidad de los implementos y/o equipos que se utilizaron. En contraste, todos los productores con más de 50 ha sembradas tuvieron un ROI positivo.

Tabla 4. Implementos y equipos que prefieren rentar los productores de caña en la zona centro de Veracruz.

Equipo	Costos asociados, \$	Superficie cultivada, ha			
		1-20	21 – 39	40 a 50	Más de 50
Tractor	Inversión	2'000,000	70,000		
	Ingreso	100,000	2'100,000		
	ROI	1'900,000	2'030,000		
Dron	Inversión	30,000			100,000
	Ingreso	600,000			5'00,000
	ROI	570,000			4'900,000
Chapeadora/ Sembradora/Dron	Inversión	60,000			
	Ingreso	1,200,000			
	ROI	1,140,000			
Cosechadora/ Dron	Inversión			60,000	
	Ingreso			3'000,000	
	ROI			2'940,000	

Las inversiones que resultaron en rentabilidad negativa pueden atribuirse a una combinación de ingresos insuficientes en relación con la inversión inicial y el número de hectáreas trabajadas. A pesar de que algunas inversiones, como los drones en parcelas menores a 20 hectáreas generaron ingresos positivos, otras, como la inversión en una cosechadora, resultaron en pérdidas significativas. La rentabilidad de cada inversión parece depender entonces tanto del tipo de maquinaria que se utiliza y de la inversión que se hace en ella, como del tamaño de las parcelas en las que se siembra (Tabla 4).

DISCUSIÓN GENERAL

Los tractores fabricados entre los 1970's y 1990's se basaban en una operación mecánica básica sin componentes electrónicos avanzados. Estos equipos requerían un alto grado de intervención manual para todas las operaciones, desde la dirección hasta el control de la velocidad y el uso de implementos (Valeiro y Biaggi, 2019). Por supuesto, esto significó un gran avance sobre el trabajo manual, aunque su eficiencia y precisión eran limitadas (Palacios Rangel y Ocampo Ledesma, 2012).

Los tractores para la agricultura de precisión ofrecen numerosos beneficios sobre los tractores antiguos, en términos de precisión, eficiencia y capacidad de gestión basada en datos. Los tractores antiguos revolucionaron la productividad al reducir significativamente el trabajo físico necesario para arar, sembrar y cosechar, y facilitan el manejo con una variedad de implementos agrícolas, desde arados hasta cosechadoras, pero los equipos modernos optimizan el uso de recursos, aportan mejoras significativas en precisión, eficiencia y gestión y facilitan la toma informada de decisiones. El costo inicial y la necesidad de capacitación son barreras iniciales que en el largo plazo resultan en reducción de costos operativos, sostenibilidad y eficiencia, y hacen que la inversión en tecnología avanzada sea una opción atractiva para la agricultura moderna (Barreiro Elorza *et al.*, 2010). Las características tecnológicas más destacadas incluyen la integración de sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG), que permiten un mapeo y navegación precisos. Estos sistemas son fundamentales para lograr una alta precisión en diversas operaciones agrícolas (Melgar, 2018). La automatización y el control preciso son otras características cruciales. Los equipos agrícolas modernos incluyen sistemas de control automatizados que habilitan operaciones como la conducción autónoma y la aplicación variable de insumos. Los sistemas automatizados, junto con los sensores avanzados, permiten el monitoreo en tiempo real de las condiciones del suelo, los cultivos y el clima. Esta capacidad de monitoreo es esencial para adaptar las estrategias de cultivo según las condiciones y optimizar así el uso de recursos (Ojeda-Beltrán, 2022). Además, la conectividad y el software de gestión agrícola juegan un papel vital. La integración con software especializado permite la planeación, monitoreo y análisis detallado de todas las operaciones agrícolas. Este software facilita la gestión de grandes volúmenes de datos y ofrece a los agricultores información como: consumo de combustible, número de horas trabajadas y de horas muertas, monitoreo de la superficie trabajada, cantidad de material recolectado, todo lo cual resulta importante para la toma de decisiones (Mateo, 2023).

A diferencia de un equipo tradicional, una cosechadora de caña de azúcar con agricultura de precisión utiliza una combinación de GPS, sensores avanzados y sistemas automatizados para optimizar la eficiencia y precisión del proceso de cosecha. La tecnología de posicionamiento global permite que estas máquinas naveguen por rutas predefinidas con precisión milimétrica y que eviten áreas

innecesarias. Los sensores miden en tiempo real parámetros tanto del cultivo como del suelo, por lo que hacen ajustes instantáneos en la altura de corte y en la velocidad de operación. Durante la cosecha, se recopilan datos sobre el rendimiento del campo y la calidad mismos que se analizan en plataformas de gestión agrícola para mejorar las prácticas futuras. La conectividad inalámbrica permite la comunicación en tiempo real con otros equipos y con la central de gestión, lo que facilita la coordinación y el hacer ajustes inmediatos en las operaciones. Esta tecnología maximiza el rendimiento, reduce costos operativos y mejora la sostenibilidad de la producción de caña de azúcar y ha transformado la agricultura en una actividad más sostenible, eficiente y productiva (Mosquera Guerrero, 2013).

CONCLUSIONES

Los implementos y/o equipos de agricultura de precisión utilizados por los productores de caña de azúcar en la zona centro de Veracruz fueron: chapeadora, arado, rastra, tractor, volquetas o jaulas, camión, cosechadora, dron, sembradora y alzadora.

La rentabilidad de la agricultura de precisión aplicada para el cultivo de caña en pequeños productores de la zona centro de Veracruz resulta positiva cuando se adquiere maquinaria y equipos con un costo inferior al millón de pesos. Por arriba de ese nivel, no es recomendable que los pequeños productores inviertan en adquirir implementos y/o equipos de agricultura de precisión.

REFERENCIAS

- Aguilar-Rivera, N., Alejandre-Rosas, J. & Espinosa-López, R. (2015). Energy and LCA evaluation of sugar industry in Veracruz, Mexico. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 144-157.
- Alanía Gutiérrez, D. K. (2023). *Factores de producción que influyen en la rentabilidad en el cultivo del orégano (Origanum vulgare L.) en el Distrito de Ticaco en la campaña agrícola 2019–2020* (Tesis de ingeniero en economía agraria). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
<https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7a1a02ad-98f3-494d-b48f-be074f1d18d1/content>
- Barbosa Júnior, M. R., Moreira, B. R. d. A., Brito Filho, A. L. d., Tedesco, D., Shiratsuchi, L.S. & Silva, R. P. d. (2022). UAVs to monitor and manage sugarcane: Integrative review. *Agronomy*, 12(3), 661. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030661>

- Barreiro Elorza, P., Diezma Iglesias, B., & Baguena Isiegas, E. (2010). Aplicación de las Técnicas de agricultura de precisión al ahorro de combustible en el tractor. *Tierras de Castilla y León. Agricultura*, (165), 34-43.
- Best, S., León, L. Méndez, A., Flores, F., & Aguilera, H. (2014). *Adopción y Desarrollo de tecnologías en Agricultura de Precisión*. Boletín Digital N° 3. *Quilamapu*, Chile: PROGAP-INIA, 100p.
- Cancino, S.E., Cancino, G. O., & Quevedo, E. (2019). Factores determinantes de la rentabilidad económica del cultivo de durazno en la Provincia de Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Revista Espacios*, 40(13). <https://www.revistaespacios.com/a19v40n13/19401318.html>
- Carpio Santos, L.K. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(14), 25-32.
- CONADESUCA (2016). *Nuevas variedades de caña de azúcar*. Nota informativa sobre innovaciones en materia de productividad del sector. México: Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. BOLETINAGO. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/136406/NotaNuevasVariedadesd_Cana_de_Azucar.compressed.pdf
- Cuevas Villegas, C.F. (2001). Medición del desempeño: retorno sobre inversión, ROI; ingreso residual, IR; valor económico agregado, EVA; análisis comparado. *Estudios Gerenciales*, 17(79), 13-25.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., González, L.A., Tablada, E.M., Díaz, M.P., Robledo, M.P., Walter, C. & Balzarini, M.G. (2005). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias* (6ª. ed.). Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Flores F., J. & Miranda R., E. (2017). Factores que influyen en la rentabilidad económica de la producción del cultivo de camu camu en la selva peruana. *Tzhoecoen*, 9(1), 94-106.
- Godoy Navarro, J.M. (2023). *Drones agrícolas, clave para la adopción y transición hacia la agricultura 4.0 en México* (Trabajo de grado de Maestro en Dirección Estratégica de las Tecnologías de Información y Comunicación. México: INFOTEC, Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación.
- González Robaina, F., Herrera Puebla, J., López Seijas, C.L., Dios-Palomares, R., Hernández Rueda, M., & Salazar Antón, W., Sosa Romero, A., (2015). Uso de las funciones agua-rendimiento y la productividad agronómica del agua en la planificación del agua en cultivos de importancia agrícola en Cuba. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 1(1), 95-114.
- Griffin, T.W., y Lowenberg-DeBoer, J. (2005). Worldwide adoption and profitability of precision agriculture. Implications for Brazil. *Revista de Política Agrícola*, 1484, 20-37.

- Griffin, T.W., Shockley, J.M, Mark, T.B, (2018). Economics of Precision Farming. In: Shannon, D.K., Clay, D.E. & Kitchen, N.R. (Editors) (2nd ed.). *Precision Agriculture Basics*. Hoboken, N.J.: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America. p. 221-230. <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics>
- Hernández Becerril, H. (2022). *El sistema de producción tradicional en la caña y su transición a la tecnología de precisión*. Cárdenas, Tabasco: Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=1667>
- INEGI (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria. Resultados Nacionales y para Veracruz*. Informa. México: Instituto Nacional de Geografía y Estadística. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/mini_ENA19_VERACRUZ.pdf
- Khanna, M. (2021). Digital transformation of the agricultural sector: Pathways, drivers and policy implications. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 43(4), 1221–1242. <https://doi.org/10.1002/aep.13103>
- Kumarasiri, U. W. L. M., Vitharana, U.W.A., Ariyawansa, T., & Kulasekara, B. R. (2024). Use of drone imagery to predict leaf nitrogen content of sugarcane cultivated under organic fertilizer application. *Tropical Agricultural Research*, 35(1), 11-23. <https://doi.org/10.4038/tar.v35i1.8700>
- León Rodríguez, M. E., Galeano Cañón, L. V., Jiménez Pinzón, N. A., Ortega Ortega, R., & Hurtado Mesa, A. L. (2023). Drones en la agricultura 4.0. *Ingeniería Solidaria*, 19(2).
- Loures, L., Chamizo, A., Ferreira P., Loures, A., Castanho, R., & Panagopoulos, T. (2020). Assessing the effectiveness of precision agriculture management systems in mediterranean small farms. *Sustainability*, 12(9), 3765. <https://doi.org/10.3390/su12093765>
- Marote, M.L. (2010). *Agricultura de Precisión*. *Ciencia y Tecnología*, 10, 143-166. <https://dspace.palermo.edu/dspace/handle/10226/1373>
- Mateo, T. J. (2023). *Agricultura 4.0 Una revisión de tecnologías disruptivas y su impacto en la producción agrícola sostenible*. Valencia, España: Especialistes en Serveis per a la Producció Editorial.
- Melgar, M. (2018). Agricultura digital o Agricultura 4.0. *Sugar Journal (USA)*, 81(5), 33-37.
- Mosquera Guerrero, C. (2013). Agricultura de precisión en caña de azúcar. *Suelos Ecuatoriales*, 43(2), 119-124. http://www.unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/30
- Navarro, F. H. (2016). *Comparación de costos de producción empleando dos sembradoras de precisión en agricultura de conservación vs. agricultura convencional* [Tesis de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima,], Perú.

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2719/E16-N38-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ojeda-Beltrán, A. (2022). Plataformas tecnológicas en la Agricultura 4.0: Una mirada al desarrollo en Colombia. *Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 9-18. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02>
- Oré, G., Alcântara, M. S., Góes, J. A., Teruel, B., Oliveira, L. P., Yepes, J., Castro, V., Bins, L. S., Castro, F., Luebeck, D., Moreira, L. F., Cintra, R., Gabrielli, L. H., & Hernández-Figueroa, H. E. (2022). Predicting sugarcane harvest date and productivity with a drone-borne Tri-Band SAR. *Remote Sensing*, 14(7), 1734. <https://doi.org/10.3390/rs14071734>
- Ortega B., R. & Flores M., L. (2019). *Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico*. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/42C40288498C96B78525799C0058ED51/%24FILE/AgricPrecisionOrtega.pdf>
- Ortiz-Laurel, H., Rosas-Calleja, D., Rössel-Kipping, D., Salgado-García, S. & Debernardi de la Vequia, H. (2016). Efectividad y rentabilidad de técnicas de siembra de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agro Productividad*, 9(3), 40-47.
- Palacios Rangel, M. I., & Ocampo Ledesma, J. (2012). Los tractores agrícolas de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(SPE4), 812-824.
- Parra Gaviria, A.D. (2017). *Sistema multiagente para el manejo óptimo de un cultivo empleando la metodología de Prometheus [Tesis de Maestría en ciencias en ingeniería de sistemas]*. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey. <http://eprints.uanl.mx/14416/1/1080252124.pdf>
- Rebollar, S. R., Álvarez, A. C., Puebla, B. J., Jiménez, D. C., & Rebollar, A. R. (2017). Costos de producción y rentabilidad de la caña de azúcar para fruta (*Saccharum officinarum*) en una región del Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41, 808-817.
- Regalado Negrete, J.C.R. (2006). *Mecanización Agrícola en México*. México: J.C. Regalado Negrete (Editor). <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN20R333.pdf>
- Restrepo L.F. & González, J. (2007). De Pearson a Spearman *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 183-192.
- Rivera Hernández, J. P. (2021). *Principales tecnologías usadas en la agricultura de precisión [Monografía en Ingeniería Mecánica Agrícola]*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila México.

- Rosales-Soto, A. & Arechavala-Vargas, R. (2020). Agricultura inteligente en México: Analítica de datos como herramienta de competitividad. *Vinculatégica*, 6(2), 1415-1427. http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Vinculategica6_2/37_Rosales_Arechavala.pdf
- Salas González, J. M., Leos Rodríguez, J. A., Sagarnaga Villegas, L. M., & Zavala-Pineda, M. J. (2013). Adopción de tecnologías por productores beneficiarios del programa de estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 243-254.
- Schimmelpfennig, D. (2016). *Farm profits and adoption of precision agriculture*. Economic Research Report Number 217. Washington, D.C.: Economic Research Service, United States Department of Agriculture.
- Silva, M., Moraes, L., & Molin, J. (2010). Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*, 12(1), 67–81.
- Tapia Vargas, L.M., Rocha Arroyo, J.L., Vidales Fernández, I., Toledo Bustos, R. & Vizcaino Guardado A. (2004). *El fertiriego por goteo en caña de azúcar: tecnología para aumentar el rendimiento y eficientar el uso del agua y los fertilizantes*. Uruapan, Michoacán, México: Campo Experimental Uruapan, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=567>
- Tanut, B., Waranusast, R., & Riyamongkol, P. (2021). High accuracy pre-harvest sugarcane yield forecasting model utilizing drone image analysis, data mining, and reverse design method. *Agriculture*, 11(7), 682. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070682>
- Urquilla Castaneda, A. (2023). ¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global?. *Realidad y Reflexión*, (57), 39-58.
- Valeiro, A., & Biaggi, C. (2019). Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(1), 31-43.
- Van Heerden, P.D.R., Ramusandiwa, T.D., Chonco, B., Shelembe, W.L., Hlela, S.N., Gillespie, W.A., Mkhabela, N.E., Buthelezi, M.E & Masondo, R.T. (2025). Enabling small-scale grower sugarcane quality management with smartphone and crop spraying drone technologies. *S. Afr. J. Agric. Ext.* 53(3), 183-195. <https://doi.org/10.17159/2413-3221/2025/v53n3a21257>
- Zhang, X. Q., Song, X. P., Liang, Y. J., Qin, Z. Q., Zhang, B. Q., Wei, J. J., ... & Wu, J. M. (2020). Effects of spray parameters of drone on the droplet deposition in sugarcane canopy. *Sugar Tech*, 22(4), 583-588.

EVALUACIÓN DE RETENEDORES DE HUMEDAD EN *Carica papaya* L. EN LA UMI-ITUG

Youssef Utrera Vélez¹

Griselda Rodríguez Agustín²

Jazmín Balderrabano Briones³

RESUMEN

La investigación "Evaluación de materiales retenedores de humedad en papaya (*Carica papaya*) en la zona de influencia del ITUG" tiene como objetivo analizar la eficacia de diferentes materiales retenedores de humedad en el cultivo de papaya, buscando optimizar el uso del agua y mejorar el rendimiento del cultivo. La humedad en el suelo o sustrato no es simplemente la cantidad de agua presente; es la disponibilidad adecuada de agua para que las raíces puedan absorber los nutrientes esenciales y cumplir con sus funciones fisiológicas. Tanto la falta como el exceso de agua generan un estrés significativo para la planta, afectando no solo el crecimiento de las raíces, sino también el rendimiento general del cultivo. Este estudio responde a la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles ante el desafío de la escasez hídrica y el aumento de los costos de riego. A través de la experimentación con diversos materiales orgánicos, sintéticos e inorgánicos, se evaluará su capacidad para mejorar las propiedades del suelo, el crecimiento de la planta y la productividad; lo anterior con base a la retención de la humedad.

Los resultados servirán para proponer estrategias eficientes y económicamente viables en el manejo hídrico del cultivo.

Palabras Clave: Sustentabilidad, Resistencia, Producción, Calidad.

ABSTRACT

The research project "Evaluation of Moisture-Retaining Materials in Papaya (*Carica papaya*) in the ITUG Area of Influence" aims to analyze the effectiveness of different moisture-retaining materials in papaya cultivation, seeking to optimize water use and improve crop yield. Soil or substrate moisture is not simply the amount of water present; it is the adequate availability of water for roots to absorb essential nutrients and fulfill their physiological functions. Both water scarcity and excess generate significant stress for the plant, affecting not only root growth but also overall crop yield. This study

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. youssef.uv@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. griselda.ra@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jazmin.bb@ugalvan.tecnm.mx

addresses the need to implement sustainable agricultural practices in the face of water scarcity and rising irrigation costs. Through experimentation with various organic, synthetic, and inorganic materials, their capacity to improve soil properties, plant growth, and productivity will be evaluated, based on their moisture retention capacity.

The results will be used to propose efficient and economically viable strategies for water management in the crop.

Keywords: Sustainability, Resilience, Production, Quality.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de humedad en el suelo o sustrato constituye un factor determinante en el desarrollo fisiológico y productivo de los cultivos agrícolas, particularmente en aquellos con altas exigencias hídricas como la papaya (*Carica papaya L.*). En términos agronómicos, no se trata únicamente de la cantidad de agua presente, sino de la fracción disponible para ser absorbida eficientemente por las raíces, permitiendo la movilización de nutrientes y el cumplimiento de funciones metabólicas vitales. Tanto el déficit como el exceso de agua provocan estrés hídrico, con impactos negativos en el crecimiento radicular, la sanidad vegetal y en consecuencia, en el rendimiento comercial del cultivo.

La papaya es una especie tropical originaria de Mesoamérica, ampliamente cultivada en zonas cálidas desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 1000 msnm. Sin embargo, los mejores rendimientos se obtienen en altitudes comprendidas entre los 0 y los 600 msnm, donde las condiciones de temperatura, humedad relativa y luminosidad favorecen un adecuado desarrollo vegetativo y la formación de frutos con buen contenido de azúcares. Su rango óptimo de temperatura oscila entre los 18 y 35 °C, con una humedad relativa ideal de entre 60 y 85%. Este cultivo prospera en suelos ligeros, bien drenados, profundos y con buen contenido de materia orgánica, ya que el sistema radicular de la papaya es susceptible al encharcamiento. En suelos mal drenados, las raíces se asfixian y el tejido muere por falta de oxígeno.

El uso de sustratos o enmiendas orgánicas con capacidad de retención de humedad, son diversos y de gran opción viable, existen polímeros absorbentes, compostas o materiales con elevada porosidad, los cuales puede contribuir a mejorar la disponibilidad de agua en zonas de baja precipitación o suelos arenosos.

Estas alternativas permiten extender el tiempo de disponibilidad de agua entre riegos, reducir las pérdidas por percolación profunda y mejorar la eficiencia del uso del agua. El manejo adecuado de la humedad en papaya no solo representa un reto técnico, sino también una oportunidad para integrar

prácticas sostenibles que garanticen la seguridad alimentaria y la resiliencia productiva ante el cambio climático.

JUSTIFICACIÓN

La seguridad alimentaria es indispensable para cualquier pueblo, ciudad y país, por lo que el tener medidas de prevención y buen manejo en los cultivos agrícolas, se prevé contar con dicha seguridad. Actualmente se tiene una deficiencia en la disponibilidad de agua para riego agrícola, los regímenes de lluvia han cambiado, esto por el fenómeno del cambio climático, el cual es una realidad. Por lo anterior es que se busca encontrar formas de mejorar la eficiencia en el uso del agua agrícola.

Al tener tecnología de sistemas de riego se puede mejorar un poco, pero esto aunado a contar con otras herramientas para incrementar la eficacia, es que se tiene la presente investigación en cuanto a la retención de agua a través de sustratos convencionales y otros ya con un régimen comercial, que se han evaluado para dicho propósito.

OBJETIVOS

General

Evaluar diversos sustratos para la retención de humedad en el cultivo de papaya

Específicos

- Evaluar sustratos comerciales
- Evaluar sustratos tradicionales o convencionales
- Conocer parámetros de macro y micro nutrientes

MARCO DE REFERENCIA

La humedad en el suelo o sustrato no es simplemente la cantidad de agua presente; es la disponibilidad adecuada de agua para que las raíces puedan absorber los nutrientes esenciales y cumplir con sus funciones fisiológicas. Tanto la falta como el exceso de agua generan un estrés significativo para la planta, afectando no solo el crecimiento de las raíces, sino también el rendimiento general del cultivo. La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta de clima tropical, por lo que se desarrolla de mejor manera en áreas cálidas que están comprendidas desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm; pero los mejores rendimientos y calidad de frutos se obtienen entre los 0-600 msnm. A medida que la papaya se produce a mayor altura se desarrollan frutos menos dulces debido a una menor capacidad de conversión de azúcares. La temperatura óptima oscila entre los 18 a 35 °C y la humedad relativa de 60 a 85%. Las plantas crecen favorablemente en diversas clases de suelo,

siempre que sean ligeros y fértiles (ricos en humus), blandos, profundos y permeables, el drenaje del suelo juega un papel importante ya que las raíces de las plantas de papaya son muy flexibles por lo que un mal drenaje ocasiona la muerte del tejido. Sin embargo, existen diversas estrategias para obtener altos rendimientos aun cuando las condiciones no son las óptimas. Riego La papaya es una planta que demanda altas cantidades de agua, especialmente en la etapa de llenado de los frutos.

Es recomendable que el agricultor coloque un evaporímetro en la parcela para tener un programa de riego más específico para la zona o si se cuenta con alguna estación meteorológica cercana, tomar provecho de la información que ahí poseen. Es muy importante recalcar que la demanda hídrica no es la misma para todas las regiones, ésta varía de acuerdo a las condiciones climáticas, por ejemplo, en una zona con clima tropical cálido, las plantas de papaya demandan los siguientes volúmenes de agua:

Cuadro 1. Necesidades hídricas según etapa fenológica

Necesidades hídricas de la papaya en clima tropical cálido (m3 de agua/ha/día)						
0-2 meses	2-4 meses	4-6 meses	6-8 meses	8-10 meses	10-12 meses	12-16 meses
25	50	100-125	125-150	150-170	170-180	150-170
Trasplante y desarrollo	Desarrollo vegetativo	Desarrollo de floración	Inicio de carga de frutas	Carga y llenado de fruta	Llenado de fruta	Llenado de fruta

Modificado por Utrera-Vélez, tomado de intagri.com/articulos/ (2025).

El cálculo del tiempo de riego depende del sistema de riego que se esté utilizando en la siembra. Cuando se cuenta con sistema de riego por goteo, se considera el gasto de cada gotero y el número de goteros por línea de siembra (hectárea) para calcular el tiempo de riego. Por ejemplo, si se tiene un terreno de 1 hectárea con 100 m de largo y 100 m de ancho, y queremos manejar 2.5 m de espacio entre cada surco, tenemos lo siguiente: Numero de surcos = $100 / 2.5 = 40$ surcos de 100 m de largo. Por consecuencia tenemos 4000 m lineales de cintilla y si colocamos 2 cintillas por surco tendremos 8000 m lineales de cintilla. Ahora bien, la distancia entre cada gotero es de 0.20 m, tendremos lo siguiente: Numero de goteros = $8000 / 0.20 = 40000$ goteros por ha. Conociendo el gasto del gotero, podremos determinar en qué tiempo vamos a regar el volumen de agua que se requiere. Para ello se puede determinar en campo o bien tomar como referencia el gasto indicado por el fabricante, por ejemplo, un gasto de 1LPH (Litros Por Hora) por cada gotero. En base a esto podemos determinar: Volumen de riego = 40,000 Litros de agua/hora/ha = 40 m3 de agua/hora/ha. Con estos datos finalmente podemos determinar en qué tiempo se abastece las necesidades hídricas del cultivo, si deseamos determinar el tiempo de riego de un cultivo de 2 meses, vamos a requerir de: Tiempo de riego = $50 / 40 = 1.25$ horas Este tiempo de riego es para abastecer los 50 m3 de agua requerido (Modificado por Utrera-Vélez, tomado de intagri.com/articulos/ , 2025)

En los primeros 2 meses de plantación se recomienda abastecer al cultivo con abundante fósforo (P) y nitrógeno; además, se puede enriquecer el aprovechamiento del P con inoculación de micorrizas que ayudarán a obtener un sistema radical más robusto. En el comienzo de la floración no se deben descuidar los niveles de boro, este nutriente proporciona un mayor amarre de frutos y, junto al zinc, hacen que los pedúnculos sean suficientemente largos y fuertes para soportar la carga de frutos. En el llenado de frutos los nutrientes que juegan un papel más importante son calcio y potasio, ya que proporcionan mayor consistencia, vida en anaquel y mayor concentración de azúcares en los frutos. Es importante proporcionarle al cultivo las cantidades adecuadas de todos los nutrientes, por ejemplo, el magnesio no debe faltar para una producción adecuada de clorofila.

Para poder conocer el estado nutrimental del cultivo se puede recurrir a diferentes análisis, principalmente: foliar, peciolo y de extracto de pasta (solución del suelo). Una etapa adecuada para el muestreo del tejido vegetal en papaya es realizarlo después del cuajado de frutos, para ello se toma un peciolo (u hoja según sea el caso) debajo de los últimos frutos cuajados, se recomienda coleccionar por lo menos 20 peciolo por hectárea. Esta actividad se debe de hacer cada 2 o 3 meses y después de dos semanas de la aplicación de fertilizantes. Los resultados de la composición nutrimental del extracto del peciolo darán la certeza de estar aplicando de manera correcta los nutrimentos o si se deben realizar cambios en el programa de nutrición. El uso de medidores portátiles de N, P, K y Ca tiene la ventaja de arrojar el resultado del análisis al instante, a diferencia de un envío al laboratorio. La desventaja es que la inversión inicial para adquirirlos es considerable, y que no sustituyen a un análisis completo (incluyendo micronutrimentos). Los análisis de la solución del suelo, también se pueden mandar a hacer al laboratorio donde recibirán el suelo y obtendrán el extracto de pasta, o bien, mediante extracciones en campo a través de chupatubos (usando nuevamente los medidores portátiles). El monitoreo nutrimental descrito es la manera más precisa y expedita para conocer el estatus nutrimental de las plantas en sus diferentes estados fenológicos, esto nos permite realizar modificaciones en el programa de nutrición y coadyuvar el máximo rendimiento del cultivo mediante un uso eficiente de los fertilizantes. Con esta herramienta podemos tener certeza de estar realizando un buen manejo de la nutrición del cultivo.

Para cada nutriente existe un rango de suficiencia, el cual indica si el nutriente en el cultivo está en la cantidad correcta en la planta. Si se realiza un análisis Foliar y algún nutriente no está en su rango óptimo, la planta ya paso por un estrés interno, que no le permite llegar a su máximo potencial de rendimiento. Por ello es indispensable que se debe llevar un monitoreo muy cercano de la nutrición del cultivo, mediante el uso del análisis foliar.

En el siguiente cuadro se observa cual es el rango óptimo de los nutrientes para el cultivo, en este caso en la etapa de floración Cuadro 2. (Ver anexo 1).

Cuadro 2. Concentración optima de nutrientes

Concentración optima de nutrientes para el cultivo										
%						ppm				
N	P	K	Ca	S	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu
1-25	0.2 - 0.4	3.3 - 5.5	1-3	0.21 - 0.3	0.4 - 1.2	25 - 100	20-100	20-30	15-40	4-10

Modificado por Utrera-Vélez, tomado de fertilab.com.mx (2025).

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describe las actividades y materiales utilizados en este proyecto de investigación. Se emplearon diversos equipos de medición electrónica in situ, para el monitoreo de la fluctuación de la extracción de humedad y nutrientes del cultivo en diversas etapas fenológicas (Figura 1).

Figura 1. Equipos para medir T, pH, Humedad, N, P, K, CE, Etc.



En la siguiente figura se muestran los diversos sustratos empleados para la evaluación en campo en cuanto a la retención de humedad (Figura 2).

Figura 2. Sustratos y aplicación de los tratamientos



Sustrato de coco

Varios factores afectan la germinación de semillas, entre ellos se encuentran la temperatura, la disponibilidad de agua, el oxígeno en la zona de la raíz, la nutrición, y la humedad. Las propiedades físicas y químicas del sustrato o medio de cultivo, tienen efecto en la disponibilidad de agua, la nutrición y la capacidad de aireación, por lo que la selección de éste es de suma importancia para obtener una óptima germinación y el desarrollo (Ayala-Sierra, A., & Valdez-Aguilar, L. A., 2008).

Composta

Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos, además, mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre explotación. Sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo, varía según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (MA Olivares-Campos, A Hernández-Rodríguez, C Vences-Contreras, JL Jáquez-Balderrama, D Ojeda-Barrios, 2012).

Ecowater

Es un compuesto potásico a base de una estructura molecular insoluble, que tiene la capacidad de retener más de 300 veces su peso en agua, tiene una vida en la capacidad de retención de la humedad entre los 4 y 6 años, según el tipo de suelo, ya que va perdiendo sus capacidades al contacto con los cationes. Mejora los rendimientos en los cultivos al reducir el estrés en la planta, al suministrarle la cantidad de agua adecuada de una manera más estable. Esa constancia reduce los tiempos en que hay un exceso de agua y una falta de humedad. Reduce también, la cantidad de agua suministrada entre un 33% y un 50%, además de que reduce el costo de los fertilizantes al evitar las pérdidas de minerales por el efecto de lixiviación (<https://agrosience.com/productos/eco-water/>, 2025).

El diseño empleado para esta investigación fue el completamente al azar. A continuación, se muestra la configuración de los tratamientos (Cuadro 3).

Tratamientos

Cuadro 3. *Tratamientos*

Tratamiento	Composición	Aplicación por planta
T0	Testigo	0 absoluto
T1	Composta - Estiércol de vaca	250 grs
T2	Sustrato de coco	100 grs
T3	Ecowater	10 grs
T4	Ecowater	20 grs

RESULTADOS

A continuación, se muestran los cuadros de los resultados por cada tratamiento obtenidos en campo.

Cuadro 4. Datos de campo del tratamiento T0

Tratamiento 0	Temperatura (°C)	Agua	Sol	PH
P1	33	DRY+	LOW+	7
P2	33	DRY+	LOW+	7
P3	32	DRY+	LOW+	7
P4	33	DRY+	LOW+	7
P5	33	DRY+	LOW+	7
P6	33	DRY+	NOR	7
P7	33	DRY+	LOW+	7
P8	32	DRY+	NOR-	7
P9	32	DRY+	LOW+	7
P10	33	DRY+	LOW+	7

Cuadro 5. Datos de campo del tratamiento T1

Sustrato de vaca	Temperatura (°C)	Agua	Sol	PH
P1	28	DRY	LOW-	7
P2	28	DRY+	LOW-	7
P3	29	DRY	LOW-	7
P4	28	DRY	LOW+	7
P5	27	DRY	LOW	7
P6	27	DRY	LOW	7
P7	28	DRY	LOW	7
P8	28	DRY	LOW+	7
P9	29	DRY	LOW-	7
P10	28	DRY	LOW+	7

Cuadro 6. Datos de campo del tratamiento T2

Sustrato de coco	Temperatura (°C)	Agua	Sol	PH
P1	29	DRY	NOR-	7
P2	29	DRY	NOR	7
P3	30	NOR	NOR	7
P4	30	DRY	LOW+	7
P5	30	DRY	NOR-	7
P6	30	DRY	LOW+	7
P7	31	NOR	NOR	7
P8	31	NOR	NOR-	7
P9	31	DRY	NOR	7
P10	30	DRY	LOW+	7

Cuadro 7. Datos de campo del tratamiento T3

Sustrato de Eco-water 10gr	Temperatura (°C)	Agua	Sol	PH
P1	31	DRY	NOR	7
P2	28	WET	NOR	7
P3	28	WET	NOR	7
P4	31	DRY	LOW+	7
P5	29	DRY	LOW+	7

P6	31	DRY	NOR-	7
P7	28	WET	NOR	6.5
P8	28	WET	NOR	7
P9	29	WET	LOW+	7
P10	28	WET	NOR	6.5

Cuadro 8. Datos de campo del tratamiento T4

Sustrato de Eco water 20gr	Temperatura (°C)	Agua	Sol	PH
P1	28	WET+	LOW+	6.5
P2	29	WET+	LOW+	6.5
P3	28	WET	LOW+	7
P4	28	WET+	NOR-	6.5
P5	30	WET+	LOW+	6.5
P6	29	WET+	NOR-	6.5
P7	28	WET+	NOR	6.5
P8	29	WET+	NOR-	6.5
P9	28	WET+	LOW+	6
P10	28	WET+	NOR-	6.5

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
HUMEDAD	50	0.87	0.85	20.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	87.72	4	21.93	73.10	<0.0001
TRATAMIENTOS	87.72	4	21.93	73.10	<0.0001
Error	13.50	45	0.30		
Total	101.22	49			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.69601

Error: 0.3000 gl: 45

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T0	1.00	10	0.17 A
T1	1.90	10	0.17 B
T3	2.30	10	0.17 B
T4	3.20	10	0.17 C
T5	4.90	10	0.17 D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Con base a los datos estadísticos y a las gráficas, se puede concluir que los tratamientos T0, T1 Y T3, no presentaron buenos resultados en cuanto a la retención de humedad, para el caso de los tratamientos T4 Y T5, la estadística muestra que fueron mejores para retener humedad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con los datos estadísticos se puede mencionar que los mejores resultados para la retención de humedad fueron los tratamientos T4 Y T5, pero en cuanto a la práctica agronómica, se recomienda usar el tratamiento T4, el de 10 grs por planta, debido a que esta dosis da mejores resultados, ya que la T5 en el exceso de humedad se hiperhidrata por lo que se sale del área de siembra, dañando a la planta.

REFERENCIAS

- Ayala-Sierra, A., & Valdez-Aguilar, L. A.. (2008). El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para transplante. Revista Chapingo. Serie horticultura, 14(2), 161-167. Recuperado en 08 de julio de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000200009&lng=es&tlng=es.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- MA Olivares-Campos, A Hernández-Rodríguez , C Vences-Contreras, JL Jáquez-Balderrama, D Ojeda-Barrios. 2012. LOMBRICOMPOSTA Y COMPOSTA DE ESTIÉRCOL DE GANADO VACUNO LECHERO COMO FERTILIZANTES Y MEJORADORES DE SUELO. 28(1):27-37,2012. Recuperado en junio 2025. www.universidadyciencia.ujat.mx.
- fertilab.com.mx <https://www.fertilab.com.mx> › Sitio › notas › Ma... Manejo de la nutrición de cultivo de Papaya - <https://www.intagri.com/articulos/frutales/riego-nutrici%C3%B3n-de-la-papaya> - <https://agrosience.com/productos/eco-water/>, 2025.

EVALUACIÓN DE 2 VARIEDADES DE CHILE HABANERO A LA
ADAPTACIÓN EDAFOCLIMÁTICA EN LA UMI-ITUGYoussef Utrera Vélez¹Griselda Rodríguez Agustín²Carlos Elotlan Rivera³

RESUMEN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor valor comercial en México, tanto por su demanda local, nacional, así como su creciente aceptación en los mercados internacionales. Esta especie es apreciada por su sabor, aroma y alto nivel de pungencia, características que le confieren un lugar particular en la gastronomía y en la industria agroalimentaria. Sin embargo, la productividad y calidad del chile habanero están fuertemente condicionadas por los factores edafoclimáticos. Entre estos factores, la temperatura, la humedad relativa, la textura y fertilidad del suelo, así como la disponibilidad hídrica, influyen directamente en el desarrollo vegetativo, la floración, el amarre de frutos y la expresión de sus atributos organolépticos (calidad en el sabor, color, olor, etc.).

Por todo lo anterior, es fundamental realizar estudios de adaptación de las diversas variedades, y que permitan identificar los genotipos con mejor comportamiento agronómico en regiones específicas, en este caso en la región de influencia del ITUG. La selección adecuada de variedades puede mejorar el rendimiento, reducir riesgos de estrés ambiental y garantizar la estabilidad de la producción y mejorar los ingresos económicos de los productores.

Palabras Clave: Sustentabilidad, Resistencia, Adaptación.

ABSTRACT

The habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is one of the most commercially valuable horticultural crops in Mexico, due to its local and national demand, as well as its growing acceptance in international markets. This species is prized for its flavor, aroma, and high level of pungency, characteristics that give it a special place in gastronomy and the agri-food industry. However, the productivity and quality of the habanero pepper are strongly influenced by soil and climate factors. Among these factors, temperature, relative humidity, soil texture and fertility, as well as water availability, directly affect

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. youssef.uv@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. griselda.ra@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. ce481710@gmail.com

vegetative development, flowering, fruit set, and the expression of its organoleptic attributes (flavor, color, aroma, etc.).

Therefore, it is essential to conduct adaptation studies of the various varieties to identify the genotypes with the best agronomic performance in specific regions, in this case, the region influenced by the ITUG (Instituto Tecnológico de Guanajuato). The appropriate selection of varieties can improve yield, reduce the risks of environmental stress, ensure stable production, and improve producers' economic returns.

Keywords: Sustainability, Resistance, Adaptation.

INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es uno de los cultivos hortícolas de mayor valor comercial en México, tanto por su demanda local, nacional, así como su creciente aceptación en los mercados internacionales. Esta especie es apreciada por su sabor, aroma y alto nivel de pungencia, características que le confieren un lugar particular en la gastronomía y en la industria agroalimentaria. Sin embargo, la productividad y calidad del chile habanero están fuertemente condicionadas por los factores edafoclimáticos. Entre estos factores, la temperatura, la humedad relativa, la textura y fertilidad del suelo, así como la disponibilidad hídrica, influyen directamente en el desarrollo vegetativo, la floración, el amarre de frutos y la expresión de sus atributos organolépticos (calidad en el sabor, color, olor, etc.).

Por todo lo anterior, es fundamental realizar estudios de adaptación de las diversas variedades, y que permitan identificar los genotipos con mejor comportamiento agronómico en regiones específicas, en este caso en la región de influencia del ITUG. La selección adecuada de variedades puede mejorar el rendimiento, reducir riesgos de estrés ambiental y garantizar la estabilidad de la producción y mejorar los ingresos económicos de los productores.

JUSTIFICACIÓN

La seguridad alimentaria es indispensable para cualquier población, por lo que tener opciones de diversos cultivos para satisfacer la demanda local y regional es fuertemente justificado en el sentido de realizar investigaciones sobre la evaluación y estudio de la adaptación a condiciones edafoclimática, así como a la resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades. Los dos factores anteriores son elementos que interfieren fuertemente en el buen establecimiento y desarrollo del cultivo, que por consecuencia esto generará mejores rendimientos.

OBJETIVOS

General

Evaluar 2 variedades de chile habanero en cuanto a la resistencia en campo a plagas y enfermedades comunes del cultivo.

Específicos

- Identificar la resistencia a plagas
- Identificar la resistencia a enfermedades
- Conocer parámetros de macro y micro nutrientes

MARCO DE REFERENCIA

Realizar investigaciones sobre la evaluación en la adaptación a las condiciones edafoclimáticas es un punto importante en mejorar la soberanía alimentaria, ya que de esto se generan propuestas mas viables con base a resultados locales y a condiciones de la temporalidad de la siembra. La adaptación a las condiciones edafoclimáticas y a las condiciones bióticas genera un punto de ayuda para realizar la planeación en el establecimiento de cultivos, y que estos sean cada vez mas rentables en la reducción de costos de inversión y en la mayor generación de la producción (rendimiento por ha por ciclo). Muchas veces los productores tienen la idea que mejorar la producción solo depende de la fertilización, pero se tiene que la realidad es otra, generar mejores rendimientos y una mayor calidad de las cosechas también depende mucho de la resistencia y tolerancia a las plagas y enfermedades (Díaz-José *et al.*, 2023). El cultivo de chile habanero es uno de los cultivos muy susceptible a diversas plagas y enfermedades, entra las más comunes o frecuentes esta la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), esta planta tiende a crecer hasta alturas de 2mts de alto, semi arbustivo y con maduraciones escalonadas, desde un naranja brillante, hasta un rojo intenso, pasando por las tonalidades medias entre ellos, así como la variedad chocolate, el cual esta obteniendo gran aceptación en el mercado. La producción de chile en México ha presentado una variación promedio anual de +4.2% durante 2011-2020, teniendo la variación más importante en 2014 (+25.8%) y la producción máxima en 2018 con 2,850,427 toneladas métricas. En 2019 se tuvo una disminución de 4.7% respecto al año anterior, pero en 2020 un incremento de 3.7% (<https://producepay.com/es/el-blog/produccion-y-exportacion-de-chile-en-mexico/>). En México, el 82.2% de la producción de chile se obtiene a cielo abierto, mientras que el 10.0% es en malla sombra y 7.8% en invernadero. Igualmente, el valor de la producción a cielo abierto es mayor, con 26,145 millones de pesos contra 7,867 de la agricultura protegida. Cabe mencionar que el rendimiento bajo invernadero es mayor, 105.16 toneladas por hectárea, comparado con las 18 toneladas por hectárea a cielo abierto.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desarrolló la variedad “Jaguar” de chile habanero tolerante a plagas y adaptada a las condiciones ambientales adversas del trópico húmedo, como son la alta temperatura y humedad, características que incrementan su rendimiento de cultivo hasta en un 36 por ciento (<https://www.gob.mx/inifap/prensa/variedad-de-chile-habanero-con-mayor-rendimiento-resistente-a-plagas-y-climas-extremos>)

Los investigadores del INIFAP que desarrollaron esta variedad tomaron como base la colección de chile habanero del banco de germoplasma del Campo Experimental “Las Huastecas”, el cual cuenta con materiales originarios de las zonas productoras de Yucatán, Quintana Roo, Campeche y Veracruz. Con ello, desarrollaron una variedad con planta y fruto tolerantes a mancha bacteriana, pudriciones de la raíz, enfermedades virales y minador de la hoja, así como resistentes a ambientes tropicales y mayor vida en anaquel. El producto fue sometido a ensayos y tuvo resultados positivos de rendimiento y calidad en zonas productoras de Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Esta variedad alcanza más de 15 toneladas por hectárea en zonas productoras con buen temporal o en diferentes sistemas de producción por riego (centro-sur de Veracruz, Campeche y Chiapas); sin embargo, bajo el sistema de riego por goteo y fertirrigación supera las 30 toneladas por hectárea a campo abierto y más de 36 toneladas bajo condiciones de agricultura protegida.

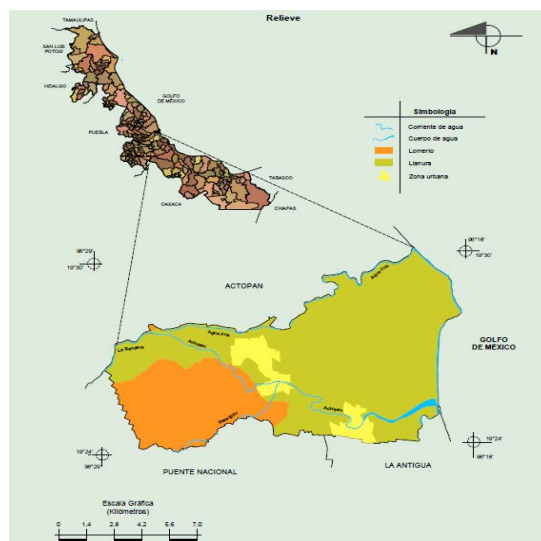
Para prevenir el ataque de plagas y enfermedades se puede utilizar diversos productos químicos. Confidor® (ia. Imidacloprid) a una dosis de 2 ml L⁻¹ para prevenir la aparición de posibles plagas como mosca blanca o trips (*Bemisia* sp., *Trialeurodes* sp., *Frankliniella* spp., *Liriodora* sp.) y Promyl® (ia. Benomilo) 2 g L⁻¹, para prevenir de enfermedades como cenicienta (*Oidium* spp.), antracnosis (*Colletotrichum phomoides*), mancha de la hoja (*Septoria lycopersici*) o pudriciones (*Botrytis cinerea*) (López-Gómez, et al., 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se describe las actividades y materiales utilizados en este proyecto de investigación. El municipio de Úrsulo Galván se encuentra entre los paralelos 19° 24' y 19° 30' de latitud norte; los meridianos 96° 18' y 96° 29' de longitud oeste; altitud entre 10 y 60 msnm. Colinda al norte con el municipio de Actopan y el Golfo de México; al este con el Golfo de México y el municipio de La Antigua; al sur con los municipios de La Antigua y Puente Nacional; al oeste con los municipios de Puente Nacional y Actopan. Ocupa el 0.17% de la superficie del estado. Cuenta con 51 localidades y una población total de 29 005 habitantes <http://mapserver.inegi.org.mx/mg n2k/> ; resultado del censo 2010.

Cuenta con Llanura aluvial costera (76.23%) y Lomerío con llanuras (23.77%). La temperatura anual oscila entre 24 – 26°C, y precipitación del rango de los 1 100 – 1 300 mm. Cálido subhúmedo con lluvias en verano. En cuanto a los suelos dominantes tenemos lo siguiente: vertisol (55.68%), Arenosol (20.32%), Phaeozem (16.62%) y Regosol (0.23%). Pertenece a la subcuenca del R. Actopan-Barra de Chachalacas (51.15%), R. Pajaritos (46.36%) y R. Ídolos (2.49%) (<https://www.inegi.org.mx> › app › datos_geograficos), (Figura 1).

Figura 1. Macrolocalización del municipio de Úrsulo Galván Veracruz (INEGI, 2025)



Uno de los retos de la producción de chile habanero es contar con plántulas sanas, vigorosas y de excelente calidad al momento del trasplante (Mendoza et al., 2021). Menciona López Gómez et al., (2017) que la calidad del chile habanero depende mucho del clima y del tipo de suelo donde se cultive ya que se necesita un análisis de suelo para saber que minerales serán los que aprovechara desde el principio y determinar si es apto para el tipo de clima en el lugar donde se establezca, ya que por lo regular siempre se cultiva a cielo abierto y esto hace que el clima lo afecte la mayor parte de tiempo (Figura 2).

Figura 2. Plántulas de habanero a evaluar



Se utilizaron instrumentos de medición electrónica in situ, para el monitoreo de la extracción de humedad y nutrientes del cultivo en diversas etapas fenológicas durante la investigación (Figura 3).

Figura 3. Toma de datos en campo



Se utilizó 2 variedades de chile habanero, estos se trasplantaron cuando tenían 3 y 4 hojas verdaderas, aproximadamente a 30 días de su siembra en charolas. Se utilizó el sistema de acolchado y riego por goteo, se estableció el sistema de espaldera cuando la planta lo requirió y se aplicaron los nutrientes básicos para el desarrollo. Las plantas estuvieron expuestas en campo a las inclemencias bióticas y abióticas. Lo anterior para crear la presión ambiental y observar la tolerancia de las variedades con base a las características de la zona.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los cuadros de los valores detectados con los sensores de NPK, y otros elementos como pH, CE, etc.

Cuadro 1. Datos de nutrientes edafoclimáticos de chile habanero rojo (28 de marzo de 2025).

PLANTA	NITRÓGENO	FOSFORO	POTASIO	PH	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CE
1	41	58	116	6.4	37.4	18.1	583
2	42	59	119	6.6	37	18.7	598
3	42	60	120	6.6	37	19.6	602
4	53	73	148	7.1	37	21.1	746
5	65	90	185	7	37.6	21.5	920
6	43	60	121	6.4	37.4	25.4	608
7	42	59	119	6.5	37.4	20.2	590
8	43	60	120	6.5	37	24.6	601
9	27	38	78	7	37.3	15.3	390
10	43	60	120	6.6	37	25.3	604
Promedio:	44.1	61.7	124.6	6.6	37.2	20.98	624.2

Cuadro 2. Datos de nutrientes edafoclimáticos de chile habanero chocolate (28 de marzo de 2025).

PLANTA	NITRÓGENO	FOSFORO	POTASIO	PH	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	CE
1	26	37	75	6.06	36.6	13	175
2	42	59	118	6.34	37.4	6.7	592
3	41	57	115	6.44	37.6	12.7	578
4	29	41	83	6.54	37.8	4.4	426
5	28	40	80	7.15	38.2	13.4	406
6	42	59	120	6.63	37.8	16.3	603
7	28	39	78	7.53	38.2	12	395
8	43	60	120	6.8	37.8	15.8	602
9	21	30	60	6.72	37.9	16.7	305
10	23	33	66	6.49	38.5	9.6	334
Promedio:	53.3	45.5	91.5	6.67	37.78	12.06	441.6

Se tomaron 10 muestras de plantas para realizar los cálculos o parámetros de medición y poder evaluar el comportamiento de cada variedad de chile habanero. Se muestran a continuación las gráficas de los resultados analizados con el software InfoStat (2020).

ANÁLISIS DE LA VARIANZA

GROSOR

Variable N R² R² Aj CV

GROSOR 20 0.28 0.24 14.32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	7.81	1	7.81	6.89	0.0172
TRATAMIENTOS	7.81	1	7.81	6.89	0.0172
Error	20.41	18	1.13		
Total	28.23	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.00056

Error: 1.1341 gl: 18

<u>TRATAMIENTOS</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
C	6.81	10	0.34 A
R	8.06	10	0.34 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ALTURA

Variable N R² R² Aj CV

ALTURA 20 0.59 0.57 11.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	441.80	1	441.80	26.12	0.0001
TRATAMIENTOS	441.80	1	441.80	26.12	0.0001
Error	304.40	18	16.91		
Total	746.20	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.86377

Error: 16.9111 gl: 18

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
R	31.60	10	1.30 A
C	41.00	10	1.30 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

RAMAS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RAMAS	20	0.05	0.00	29.90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.05	1	6.05	0.95	0.3432
TRATAMIENTOS	6.05	1	6.05	0.95	0.3432
Error	114.90	18	6.38		
Total	120.95	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.37382

Error: 6.3833 gl: 18

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
C	7.90	10	0.80 A
R	9.00	10	0.80 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

FRUTOS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FRUTOS	20	0.01	0.00	56.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.05	1	4.05	0.25	0.6260

TRATAMIENTOS	4.05	1	4.05	0.25	0.6260
Error	296.50	18	16.47		
Total	300.55	19			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.81330

Error: 16.4722 gl: 18

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
R	6.70	10	1.28
C	7.60	10	1.28

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Figura 4. Grosor de tallo de las plantas

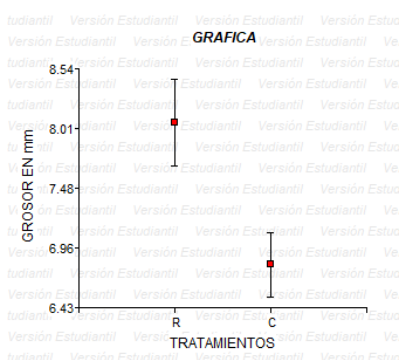
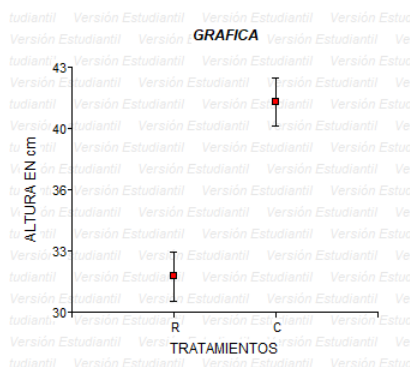


Figura 5. Altura de tallo de las plantas



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base a los datos del análisis de la varianza y a las gráficas 1 y 2 (Figura 4,5), se tiene lo siguiente: en la comparación del desarrollo de la ramificación y la cantidad de frutos por planta en cada uno de los tratamientos y repeticiones se tiene que el comportamiento es similar ya que muestran valores de p-valor altos, y como se indica que en *Medias con una letra común no son significativamente diferentes* ($p > 0.05$), es que estadísticamente estos valores comparativos no son significativos. En cambio, para la cuestión de la comparación del grosor y altura de tallo, se indica que estas variedades si son

estadísticamente diferentes, por lo que la variedad chocolate se expresa vegetativamente mejor, además en cuanto a la tolerancia de la mosquita blanca se apreció que es más fuerte bajo presión biótica de la plaga mencionada. Se exhorta a seguir realizando más trabajos de investigación en este enfoque de localidad.

REFERENCIAS

- Díaz-José *et al.*, 2023. Fertilización química y orgánica y su efecto sobre el rendimiento de chile serrano (*Capsicum annuum* L.). REVISTA BIO CIENCIAS ISSN 2007-3380. <http://revistabiociencias.uan.edu.mx>. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1472>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- López-Gómez, José Daniel, Villegas-Torres, Oscar Gabriel, Sotelo Nava, Héctor, Andrade Rodríguez, María, Juárez López, Porfirio, & Martínez Fernández, Edgar. (2017). Rendimiento y calidad del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(8), 1747-1758. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.699>
- INEGI. <https://www.inegi.org.mx> › app › datos_geograficos (recuperado en junio 2025).
- <https://www.gob.mx/inifap/prensa/variedad-de-chile-habanero-con-mayor-rendimiento-resistente-a-plagas-y-climas-extremos> (recuperado en julio 2025)
- <https://producepay.com/es/el-blog/produccion-y-exportacion-de-chile-en-mexico/> (recuperado en junio 2025).

DIVERSIDAD DEL ORDEN SQUAMATA EN UNA SELVA SECUNDARIA AL NORTE DE OAXACA, MÉXICO

Yadira Rivera González¹Ixchel Soriano Martínez²Jesús Alejandro Ríos Solís³

RESUMEN

Las selvas secundarias son el resultado de la transformación de las áreas forestales de manera natural o antropogénica, esta vegetación alberga una diversidad importante de vertebrados. Uno de los grupos que se encuentran en estos sitios son los miembros del orden Squamata (lagartijas, culebras y serpientes), especies clave de las cadenas tróficas. La matriz predominante en el norte de Oaxaca son áreas agropecuarias con remanentes de selvas secundarias. Mediante el establecimiento de transectos y trampas de caída se analizó la diversidad del orden Squamata en dos áreas de vegetación secundaria. Con un esfuerzo de muestreo de 8,000 metros lineales/día registramos 14 especies, de 10 géneros y siete familias; tres especies se encuentran protegidas por la normatividad mexicana y una es endémica a México; la especie con mayor número de registros fue *Anolis tropidonotus*. Nuestros resultados dan constancia de la importancia que tienen estos sitios en la retención de la biodiversidad, es necesario continuar con los muestreos para incrementar el número de las especies que habitan en esta área.

Palabras clave: *Anolis tropidonotus*, monitoreo, reptiles, Tuxtepec

ABSTRACT

Secondary forests are the result of the transformation of forest areas, whether naturally or through human activity. This vegetation harbors a significant diversity of vertebrates. One of the groups found in these areas are members of the order Squamata (lizards, snakes, and other reptiles), keystone species in food chains. The predominant landscape in northern Oaxaca consists of agricultural areas with remnants of secondary forests. Using transects and pitfall traps, we analyzed the diversity of the order Squamata in two areas of secondary vegetation. With a sampling effort of 8,000 linear meters/day, we recorded 14 species from 10 genera and seven families; three species are protected under Mexican law, and one is endemic to Mexico. The most frequently recorded species was *Anolis*

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. riverajem08@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. somidehdz@hotmail.com

³ Instituto Politécnico Nacional, Universidad Intercultural del Pueblo. jrioss2200@alumno.ipn.mx

tropidonotus. Our results demonstrate the importance of these sites in biodiversity retention, and it is necessary to continue sampling to increase the number of species inhabiting this area.

Keywords: Anolis tropidonotus, monitoring, reptiles, Tuxtepec

INTRODUCCIÓN

México es reconocido por su alta diversidad biológica y se considera uno de los países con mayor riqueza de reptiles a nivel mundial, al contar con 864 especies registradas (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014). Dentro del país, el estado de Oaxaca se destaca por su diversidad herpetológica, atribuida a la heterogeneidad de sus ecosistemas, altitud, clima y vegetación, lo que lo convierte en un foco prioritario para la conservación de reptiles (Lavariega et al., 2017). Entre los grupos de reptiles presentes, el orden Squamata, que incluye lagartijas, serpientes y anfisbénidos, es el más diverso y cumple funciones ecológicas esenciales, como el control de poblaciones de invertebrados y pequeños vertebrados, la dispersión de semillas en algunos casos y la participación en la estructura de las cadenas tróficas (Flores-Villela & García-Vázquez, 2014; Vitt & Caldwell, 2014).

Las selvas secundarias, formadas tras la intervención de ecosistemas originales, son ecosistemas clave para la conservación de la biodiversidad, incluyendo la fauna herpetológica. Estas áreas proporcionan microhábitats heterogéneos, refugios, disponibilidad de alimento y corredores ecológicos que permiten a los reptiles sobrevivir y reproducirse en paisajes fragmentados o modificados por actividades humanas (Chazdon, 2008; Vieira et al., 2018). Se ha demostrado que los reptiles utilizan activamente acahuales y selvas secundarias, no solo como refugio frente a depredadores, sino también como espacios para termorregulación, alimentación y reproducción (Rodríguez-Estrella et al., 2013; Escobar et al., 2015). En este sentido, estos ecosistemas secundarios no solo mantienen la riqueza y abundancia de especies, sino que también desempeñan un papel en la resiliencia ecológica, permitiendo la recuperación de especies después de disturbios y contribuyendo al equilibrio de las comunidades locales.

El presente estudio se desarrolló en el Tecnológico Nacional de México, Campus Cuenca del Papaloapan, ubicado en la localidad de San Bartolo, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, en un área que incluye acahuales y zonas forestales maderables, representativas de vegetación secundaria. El objetivo principal fue inventariar la diversidad y abundancia de reptiles, con énfasis en el orden Squamata, y evaluar la importancia de los distintos tipos de vegetación secundaria en la conservación de la herpetofauna local. Este conocimiento permitirá generar información científica que contribuya a la educación ambiental, a la valoración de la biodiversidad y a la implementación de estrategias de

manejo y conservación de estos ecosistemas, promoviendo la protección de especies y la conectividad de hábitats en paisajes humanizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica dentro de las instalaciones del Tecnológico Nacional de México, Campus Cuenca del Papaloapan, en la localidad de San Bartolo, municipio de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México, en las coordenadas geográficas 18.087886 y -96.097181. El clima de la región corresponde al tipo cálido húmedo, caracterizado por precipitaciones abundantes durante la temporada de verano. El suelo predominante es de tipo luvisol, y la zona se encuentra inserta en una matriz agrícola (INEGI, 2010).

La actividad económica principal está orientada a la producción agrícola y pecuaria, la cual ha generado una transformación significativa del paisaje natural. Como consecuencia, en determinadas zonas se han desarrollado áreas de vegetación secundaria, principalmente selvas en etapa de regeneración o acahuals tras el abandono de las tierras agrícolas (Figura 1).

Figura 1. Vegetación secundaria de los sitios de muestreo.



El trabajo de campo se desarrolló entre los meses de septiembre y diciembre de 2023. Conforme al cronograma de actividades, durante la segunda y tercera semana se llevó a cabo el establecimiento y recorrido de los transectos.

Se seleccionaron dos áreas de muestreo para la instalación de los transectos, denominadas Cacaotal (Acahual) y Maderables (Forestal). Con apoyo de un flexómetro, cada transecto fue segmentado en intervalos de 50 metros, señalados con banderillas rojas para facilitar su visualización en campo. Cada

transecto tuvo una longitud total de 400 metros y un ancho de 5 metros; aunque no fueron completamente lineales, se procuró que atravesaran la mayor parte de cada zona con el fin de maximizar el registro de información (Figura 2).

Figura 2. Ubicación de los transectos de muestreo.



Para el muestreo de reptiles se implementaron transectos lineales, a lo largo de los cuales se colocaron trampas de caída (pitfall traps) distribuidas a intervalos de 50 metros. Los transectos fueron recorridos de manera sistemática cada 15 días, registrando tanto los organismos capturados en las trampas como los avistamientos directos obtenidos durante el recorrido. Esta combinación de técnicas permitió incrementar la probabilidad de detección y obtener un muestreo más representativo de la comunidad de reptiles presente en el área de estudio (Heyer et al., 1994; Campbell & Christman, 1982).

La identificación taxonómica de los ejemplares se realizó con el apoyo de un especialista en herpetofauna adscrito al Tecnológico Nacional de México, Campus Cuenca del Papaloapan, complementando este procedimiento con el uso de literatura especializada y claves taxonómicas disponibles para la herpetofauna de México (Liner & Casas-Andreu, 2008; Flores-Villela & Canseco-Márquez, 2004). Todos los organismos registrados y, en su caso, colectados durante el muestreo fueron manipulados de acuerdo con criterios éticos y posteriormente reintegrados a su ecosistema natural, con el propósito de minimizar el impacto sobre las poblaciones locales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevaron a cabo un total de 21 recorridos de monitoreo en los dos tipos de vegetación seleccionados, durante los cuales se registraron 14 especies (Cuadro 1), distribuidas en 10 géneros y siete familias. El esfuerzo de muestreo totalizó 8,000 m/día, lo que permitió evaluar de manera sistemática la

presencia y distribución de las especies en cada tipo de vegetación. La efectividad de captura obtenida fue de 0.012875, lo que refleja la probabilidad de detección de los organismos bajo las condiciones del estudio y la densidad relativa de las especies en el área de muestreo.

Estos resultados evidencian la importancia de mantener recorridos sistemáticos y consistentes, así como la relevancia de combinar diferentes técnicas de muestreo para aumentar la probabilidad de detección y obtener un inventario representativo de la herpetofauna en los distintos tipos de vegetación evaluados.

Tabla 1. Especies del orden squamata registradas en el Tecnológico Nacional de México Campus Cuenca del Papaloapan.

Familia	Género	Especie	Tipo de vegetación
Iguanidae	<i>Ctenosaura</i>	<i>similis</i>	F
	<i>Iguana</i>	<i>iguana</i>	F
Dactyloidae	<i>Anolis</i>	<i>sericeus</i>	A
		<i>uniformis</i>	F/A
		<i>tropidonotus</i>	F/A
		<i>quercorum</i>	F
		<i>sagrei</i>	F/A
Phrynosomatidae	<i>Sceloporus</i>	<i>variabilis</i>	F/A
	<i>Mastigodryas</i>	<i>melanonomus</i>	F/A
	<i>Drymobius</i>	<i>margaritiferus</i>	F/A
Boidae	<i>Boa</i>	<i>imperator</i>	A
Dipsadidae	<i>Coniophanes</i>	<i>imperialis</i>	F
Corytophanidae	<i>Basiliscus</i>	<i>vittatus</i>	A
Leptotyphlopidae	<i>Epictia</i>	<i>goudotii</i>	A

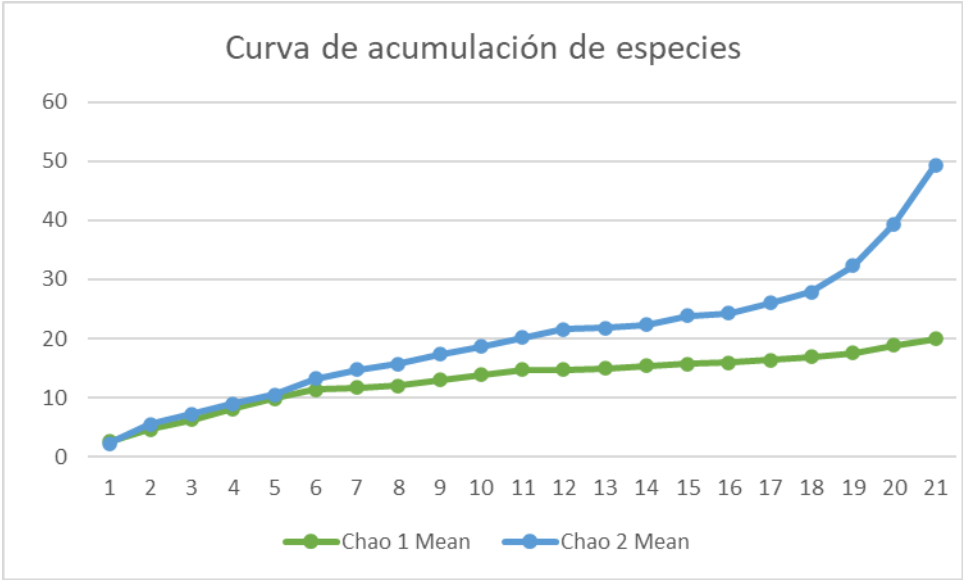
F: Forestal, A: Acahual

La familia Dactyloidae fue la más representada en cuanto a número de especies, con un total de cinco. La especie con mayor frecuencia de registros fue *Anolis tropidonotus*, lo que sugiere una alta densidad poblacional o una mayor detectabilidad en el área de estudio. Por otro lado, las especies con menor número de registros incluyeron *Ctenosaura similis*, *Mastigodryas melanonomus*, *Boa imperator*, *Coniophanes imperialis*, *Drymobius margaritiferus* y *Epictia goudotii*. Estas especies mostraron una distribución más restringida o menor actividad durante los periodos de muestreo, posiblemente relacionada con su comportamiento, microhábitat o densidad poblacional. Este patrón de abundancia relativa refleja la heterogeneidad ecológica de las distintas áreas de vegetación y permite inferir la importancia de cada especie dentro de la estructura y funcionalidad de la comunidad de reptiles en la región (Nicholson et al., 2012; Poe, 2017).

La curva de acumulación de especies indica que aún no se ha alcanzado la asíntota, lo que sugiere que la riqueza de especies registrada no refleja completamente la diversidad del área y que se recomienda continuar con los muestreos sistemáticos (Magurran, 2004). Para estimar la riqueza total de la comunidad se emplearon los estimadores no paramétricos Chao 1 y Chao 2, ampliamente utilizados para corregir la subestimación de especies raras o poco frecuentes (Chao, 1984; Chao et al., 2005). El estimador Chao 1 indica que podrían faltar al menos seis especies, mientras que Chao 2

sugiere un déficit de aproximadamente 36 especies. Estas diferencias reflejan la sensibilidad de cada estimador a especies raras (Chao 1) o únicas en las muestras (Chao 2), enfatizando la necesidad de incrementar el esfuerzo de muestreo para obtener un inventario más representativo de la herpetofauna local (Figura 3).

Figura 3. Curva de acumulación de especies.



El índice de abundancia relativo mostro que *Anolis tropidonotus* fue la especie mas abundante, en ambos sitios de muestreo, al igual que *A. sagrei*, mantuvieron índices similares en ambos transectos de muestreo (Tabla 2).

	Forestal-Maderables		Acahual-Cacaotal		General	
	Numero de registros	IAR	Numero de registros	IAR	Numero de registros	IAR
<i>Anolis quercorum</i>	4	1.42	0	0	4	0.5
<i>Anolis sagrei</i>	12	4.28	18	3.46	30	3.75
<i>Anolis sericeus</i>	0	0	4	0.76	4	0.5
<i>Anolis tropidonotus</i>	16	5.71	22	4.23	38	4.75
<i>Anolis uniformis</i>	5	1.78	2	0.38	7	0.87
<i>Basiliscus vittatus</i>	0	0	3	0.57	3	0.37
<i>Boa imperator</i>	0	0	1	0.19	1	0.12
<i>Coniophanes imperialis</i>	1	0.35	0	0	1	0.12
<i>Ctenosaura achantura</i>	1	0.35	0	0	1	0.12
<i>Drymobius margaritiferus</i>	1	0.35	0	0	1	0.12
<i>Epictia goudotti</i>	2	0.71	0	0	2	0.25
<i>Iguana iguana</i>	4	1.42	0	0	4	0.5
<i>Mastigodryas melanonomus</i>	2	0.71	1	0.19	3	0.37
<i>Sceloporus variabilis</i>	1	0.35	2	0.38	3	0.37

El índice de abundancia relativo indicó que *Anolis tropidonotus* fue la especie más abundante en ambos sitios de muestreo, mientras que *Anolis sagrei* presentó valores comparables de abundancia relativa, manteniéndose consistente a lo largo de los transectos evaluados (Nicholson et al., 2012;

Poe, 2017). Estos resultados sugieren que ambas especies tienen una distribución estable y uniforme en las áreas estudiadas, lo cual puede estar relacionado con su adaptación a microhábitats específicos, su comportamiento territorial y la disponibilidad de recursos alimenticios (Losos, 2009). La predominancia de *A. tropidonotus* y la relativa abundancia de *A. sagrei* reflejan un patrón común en comunidades de Dactyloidae en ambientes alterados o fragmentados, donde especies generalistas y con alta capacidad de adaptación tienden a dominar, mientras que especies más especializadas o menos tolerantes a cambios ambientales presentan menor abundancia (Poe et al., 2011; Nicholson et al., 2012). Esto resalta la importancia de monitoreos periódicos y estrategias de conservación que consideren la heterogeneidad del hábitat para mantener la diversidad de especies en las áreas de estudio.

CONCLUSIÓN

La planificación deficiente y el uso no regulado del suelo para agricultura y ganadería afectan directa e indirectamente a las especies del orden Squamata, con repercusiones sobre otras especies de la cadena trófica, provocando disminución de la biodiversidad y de la abundancia general de organismos. El listado de especies generado en el Instituto permite a docentes y estudiantes identificar la fauna local y difundir información precisa, corrigiendo la percepción errónea de que estas especies son perjudiciales. Por el contrario, muchas actúan como indicadores de calidad del ecosistema y desempeñan funciones ecológicas esenciales, como el control biológico de plagas en los principales cultivos de la región, resaltando su importancia para la conservación y el manejo sostenible de la biodiversidad.

Para favorecer la conservación de la fauna local, se recomienda implementar estrategias de manejo sostenible del suelo y de las actividades agrícolas y pecuarias, promoviendo prácticas que reduzcan la alteración del hábitat natural. Asimismo, es fundamental fomentar programas de educación ambiental dirigidos a la comunidad académica y poblaciones locales, con el objetivo de difundir información científica sobre la importancia ecológica de las especies de Squamata y su rol en el control biológico de plagas. La integración de estas acciones contribuirá a mantener la biodiversidad y a fortalecer la resiliencia de los ecosistemas de la región.

REFERENCIAS

Campbell, H. W., & Christman, S. P. (1982). Field techniques for herpetofaunal community analysis. In N. J. Scott Jr. (Ed.), *Herpetological communities: A symposium of the Society for the Study of*

- Amphibians and Reptiles and the Herpetologists' League (pp. 193–200). U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Chao, A. (1984). Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11(4), 265–270.
- Chao, A., Colwell, R. K., Lin, C. W., & Gotelli, N. J. (2005). Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology*, 86(4), 1143–1150.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458–1460.
- Escobar, F., Sosa, G., & López, L. (2015). Herpetofauna y uso de hábitats en selvas secundarias de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2), 432–441.
- Flores-Villela, O., & Canseco-Márquez, L. (2004). Guía de campo de los reptiles de la Ciudad de México y sus alrededores. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores-Villela, O., & García-Vázquez, U. O. (2014). *Reptiles de México: Diversidad, distribución y conservación*. CONABIO.
- Heyer, W. R., Donnelly, M. A., McDiarmid, R. W., Hayek, L. C., & Foster, M. S. (1994). Measuring and monitoring biological diversity: Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 San Juan Bautista Tuxtepec.
- Lavariega, M. C., Martín-Regalado, N., Monroy-Gamboa, A. G. & Briones-Salas, M. (2017). Estado de conservación de los vertebrados terrestres de Oaxaca, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(10), 135-146. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.855>
- Liner, E. A., & Casas-Andreu, G. (2008). Standard names of Mexican amphibians and reptiles. *Herpetological Circular*, 38, 1–162. Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Nicholson, K. E., Crother, B. I., Guyer, C., & Savage, J. M. (2012). A molecular phylogeny of the Dactyloidae (Squamata: Iguanidae) and the evolution of ecomorphological traits. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 62(2), 343–357.
- Poe, S. (2017). A phylogenetic, biogeographic, and taxonomic study of all extant species of Anolis (Squamata: Dactyloidae). *Systematic Biology*, 66(5), 663–683
- Rodríguez-Estrella, R., González-Pérez, I., & Moreno, C. (2013). Reptiles en hábitats alterados: uso de acahuales y selvas secundarias. *Herpetological Conservation and Biology*, 8(3), 678–689.
- Vieira, I. C. G., Almeida, D. R. A., & Silva, J. M. C. (2018). Secondary forests as reservoirs of biodiversity in human-modified landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 27(5), 1101–1119.

Vitt, L. J., & Caldwell, J. P. (2014). *Herpetology: An introductory biology of amphibians and reptiles* (4th ed.). Academic Press.

Villela, O. A. F., & García-Vázquez, U. O. (2014). Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85. <https://doi.org/10.7550/rmb.43236>

IMPACTO DEL USO DE UN BIOESMULANTE MICROBIANO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN MACROTÚNEL

Félix David Murillo Cuevas¹

Jacel Adame García²

José Antonio Fernández Viveros³

RESUMEN

La producción de hortalizas presenta grandes retos al tener que responder a las demandas globales de lograr altos niveles de productividad con prácticas de manejo que garanticen el cuidado del ambiente. La nutrición de las plantas es un factor clave en el rendimiento de los cultivos, lo cual ha provocado un uso excesivo de fertilizantes químicos, que vuelven insostenible la producción y contaminan el ambiente. Una alternativa para mejorar la nutrición de las plantas en una producción con una fertilización mínima tradicional o de bajos niveles es el uso de bioestimulantes microbianos. En este trabajo se presenta una pequeña revisión teórica de los bioestimulantes microbianos y algunos resultados obtenidos en la producción de hortalizas en macrotúnel, utilizando un bioestimulante microbiano formulado con bacterias. En el cultivo de jitomate con las aplicaciones del bioestimulante se obtuvo un incremento promedio en la producción por planta de 32.2% (642.3 g a 947.2 g), en chile jalapeño de 24.3% (247.2 g a 326.4 g), en habanero de 28.0% (87.92 g a 112.08 g) y en serrano de 39.9% (1,210 g a 2,012 g). Con el bioestimulante microbiano se puede mantener la producción por planta en hortalizas con una baja dosis de fertilización química.

Palabras clave: *Bacillus*, jitomate, habanero, jalapeño, agricultura

ABSTRACT

Vegetable production presents significant challenges as it must respond to global demands for high productivity levels with management practices that guarantee environmental protection. Plant nutrition is a key factor in crop yield, which has led to excessive use of chemical fertilizers, making production unsustainable and polluting the environment. One alternative to improve plant nutrition in production with traditional minimal or low-level fertilization is the use of microbial biostimulants. This paper presents a brief theoretical review of microbial biostimulants, and some results obtained in vegetable production in macrotunnels using a microbial biostimulant formulated with bacteria. In tomato crops with

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. felix.mc@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jose.fv@ugalvan.tecnm.mx

applications of the biostimulant, an average increase in production per plant of 32.2% was obtained (642.3 g to 947.2 g), in jalapeño pepper of 24.3% (247.2 g to 326.4 g), in habanero of 28.0% (87.92 g to 112.08 g) and in serrano of 39.9% (1,210 g to 2,012 g). With microbial biostimulant, production per plant can be maintained in vegetables with a low dose of chemical fertilization.

Key words: *Bacillus*, tomato, habanero, jalapeño, agriculture

INTRODUCCIÓN

En México las hortalizas ocupan el 20% de la producción agrícola nacional, siendo el jitomate y el chile verde los de mayor producción con 3,723,803 toneladas y 3,220,428 toneladas respectivamente (SIAP, 2024). Entre los tipos de chiles verde el jalapeño contribuye con 783,332 toneladas y el habanero con 27,527 toneladas (SIAP, 2024). Estos cultivos son fuentes de recursos económicos y de empleo en el campo, además, son importantes en la captación de divisas en el sector agroalimentario de exportación (Cedillo-Portugal, 2018). Estas hortalizas son de las más consumidas e importantes en la economía, cultura y gastronomía mexicana.

El cultivo de jitomate, chile jalapeño y habanero requieren cantidades importantes de fertilización química a base de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) para obtener rendimientos óptimos, de tal forma que una deficiencia de estos se correlaciona con pérdidas significativas en la producción (López-Gómez et al., 2020; Díaz-Vázquez et al., 2023; Zhang et al., 2024). Los macronutrientes N, P y K influyen en los parámetros de producción, morfológicos, de contenido de flavonoides, licopeno y β -caroteno en frutos de jitomate (Bentamra et al., 2023). Fórmulas de NPK con 350-250-360 incrementan el número de frutos por planta, la longitud y diámetro del fruto, y el rendimiento de frutos por planta de chile habanero (Castillo-Aguilar et al., 2024).

En el cultivo de chile jalapeño dosis de NPK 220-80-50 es un factor clave en el rendimiento de su producción (Abdelaziz et al., 2008). Al ser tan importante la fertilización química para estos cultivos, los productores suelen aumentar las dosis y uso de los fertilizantes, lo que muchas veces es inútil, ya que una cantidad considerable de este se escapa al ambiente por lixiviación contaminando cuerpos de agua y suelo (da Silva et al., 2020; Galindo et al., 2020). Además, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos a menudo puede ocasionar una disminución en la absorción y uso de los nutrientes por parte de la planta, afectando el rendimiento y ganancia de los agricultores (Mendoza-Elos et al., 2020; Ottaiano et al., 2021).

Por tal motivo, es necesario el uso de estrategias biológicas con enfoques sostenibles para un manejo de bajos insumos en la fertilización de hortalizas como jitomate y chile verde. Una de estas estrategias es el uso de bioestimulantes microbianos. Los bioestimulantes microbianos son formulados con

microorganismos benéficos, tales como bacterias y hongos que promueven el crecimiento vegetal mediante la solubilización de minerales y la fijación de nitrógeno, así como a través de mecanismos fisiológicos y genéticos que estimulan la producción de compuestos orgánicos, lipopolisacáridos, enzimas y fitohormonas (Caulier et al., 2019; Lephatsi et al., 2021).

Además, muchos de estos microorganismos mejoran la tolerancia al estrés biótico y abiótico al activar genes del sistema de defensa de la planta y producir fenólicos, ácidos orgánicos, aminoácidos y enzimas, que las protegen de condiciones desfavorables (Backer et al., 2018; Vociante et al., 2022). Los bioestimulantes microbianos son utilizados de manera eficiente en el manejo de cultivos de bajos insumos o tasas reducidas de fertilización química, con un enfoque de agricultura sostenible (Shahrajabian et al., 2021; Sánchez-Sánchez et al., 2022; Chafai et al., 2023).

La extensa gama de bioestimulantes microbianos y los diferentes efectos que tienen sobre los cultivos y sus frutos, son evidencias concluyentes para considerarlos como alternativas eficientes para mejorar la calidad de los cultivos en las prácticas agrícolas. La elección de los bioestimulantes más eficientes bajo condiciones específicas deberá realizarse en ensayos simultáneos de varios bioestimulantes en estas condiciones específicas o uno sólo en diferentes condiciones.

De tal manera que el objetivo de este trabajo fue presentar una revisión teórica de los bioestimulantes microbianos y algunos resultados obtenidos en la producción de jitomate, chile jalapeño y habanero en condiciones de macrotúnel utilizando un bioestimulante microbiano formulado con bacterias.

CONTENIDO, MATERIALES Y MÉTODOS

En México, en la mayoría de los cultivos hortícolas se ha creado una dependencia excesiva de los fertilizantes sintéticos, ya que con estos se proporcionan de forma rápida los macro y micronutrientes necesarios para las plantas. No obstante, la fertilización nitrogenada es una de las fuentes más importante de gases de efecto invernadero (Estrada-Herrera et al., 2017).

Además, la aplicación excesiva de fertilizantes químicos genera problemas de inocuidad y deterioro de la calidad de los alimentos, como la acumulación de nitratos en los vegetales que puede provocar metahemoglobinemia en menores. Por otro lado, los altos costos de los fertilizantes sintéticos han encarecido la producción de los alimentos y en algunos casos ha provocado que sean insostenibles. Por lo tanto, es inevitable que la producción de hortalizas tenga alternativas eficientes que reduzcan el uso de los fertilizantes sintéticos, para hacer frente a los cambios en las leyes y regulaciones nacionales e internacionales que buscan el desarrollo de una agricultura sostenible. Por lo consiguiente, una opción es el manejo integrado de nutrientes, que no pretende eliminar por completo

la fertilización química de manera inmediata, si no que sugiere complementar la fertilización química con el uso de inoculantes microbianos para reducir la cantidad de fertilizantes sintéticos.

Los inoculantes microbianos que se utilizan como bioestimulantes vegetales son microorganismos promotores del crecimiento vegetal, tales como hongos micorrízicos y no micorrízicos, bacterias endosimbióticas y rizobacterias, los cuales aumentan la absorción de nutrientes mediante la fijación de nitrógeno o la solubilización de nutrientes (Miguel-Ferrer et al., 2021; Arthur et al., 2023).

Los hongos benéficos que se utilizan como bioestimulantes de plantas interactúan con las raíces de las plantas de manera simbiótica mutualista (Behie y Bidochka, 2014) (Figura 1). Los hongos micorrízicos establecen simbiosis con más del 90% de todas las especies vegetales. Las micorrizas arbusculares, son endomicorrizas asociadas a muchos cultivos hortícolas, por ejemplo, las hifas fúngicas de las especies Glomeromycota penetran las células corticales de la raíz y forman estructuras ramificadas llamadas arbusculos (Behie y Bidochka, 2014).

Algunos hongos como *Trichoderma* spp. (Ascomycota), que son distintos de las especies de micorrizas y que puede sobrevivir al menos parte de su ciclo de vida lejos de la planta, colonizar raíces y transferir nutrientes a sus huéspedes (Behie y Bidochka, 2014), están siendo cada vez más utilizados como bioestimulantes vegetales. Varias especies de hongos del género *Trichoderma* han sido ampliamente estudiados y utilizados por sus propiedades de bioplaguicidas (micoparasitarios) y biocontrol (inducen resistencia a enfermedades).

Pero, por otro lado, también hay pruebas de que estos hongos inducen otras respuestas en las plantas, tales como una mayor tolerancia al estrés abiótico, mayor eficiencia en el uso de nutrientes y en el incremento y morfogénesis de los órganos (Figura 1) (Shoresh et al., 2010). De tal manera estos hongos pueden considerarse bioestimulantes microbianos, aunque sus usos agrícolas sean mayoritariamente como funguicidas.

Las bacterias utilizadas como bioestimulantes microbianos pueden ser principalmente de dos tipos, mutualistas endosimbióticos como la bacterias del género *Rhizobium* y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV). Las bacterias del género *Rhizobium* se comercializan como biofertilizantes, como inoculantes microbianos que facilitan la adquisición de nutrientes por parte de las plantas. Las RPCV influyen en todos los aspectos de la vida vegetal, en la nutrición y crecimiento, morfogénesis y desarrollo, en la respuesta al estrés biótico y abiótico (Gaiero et al., 2013) (Figura 1). Las RPCV estimulan los efectos benéficos sobre la salud y crecimiento de las plantas, ya que eliminan a los microorganismos patógenos de plantas y aceleran la disponibilidad y asimilación de nutrientes. Las RPCV remedian la reducción en el crecimiento de las plantas causada por las malezas, sequia, metales pesados y estrés salino (Kumar et al., 2009; Kaymak et al., 2009). Algunas de estas bacterias

pertenecen a los géneros *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Stenotrophomonas*, *Priestia* y *Bacillus* (Blake et al., 2021; Kumar et al., 2023; Thakur et al., 2024).

Las interacciones que realizan las RPCV con la rizosfera (volumen de suelo influenciado por las raíces o en asociación con ellas y el material producido por la planta) pueden ser perjudiciales, neutras o benéficas y el efecto va a depender de las condiciones del suelo. Los mecanismos que emplean las RPCV frente a las plantas es la producción de ácido indolacético (AIA), solubilización de fósforo, antagonismo contra patógenos y producción de sideróforos (Figura 2).

Figura 1. Esquema resumido de los principales mecanismos claves a los que se dirigen los microorganismos del suelo (hongos y bacterias). Tomado de Murillo-Cuevas et al., 2024.

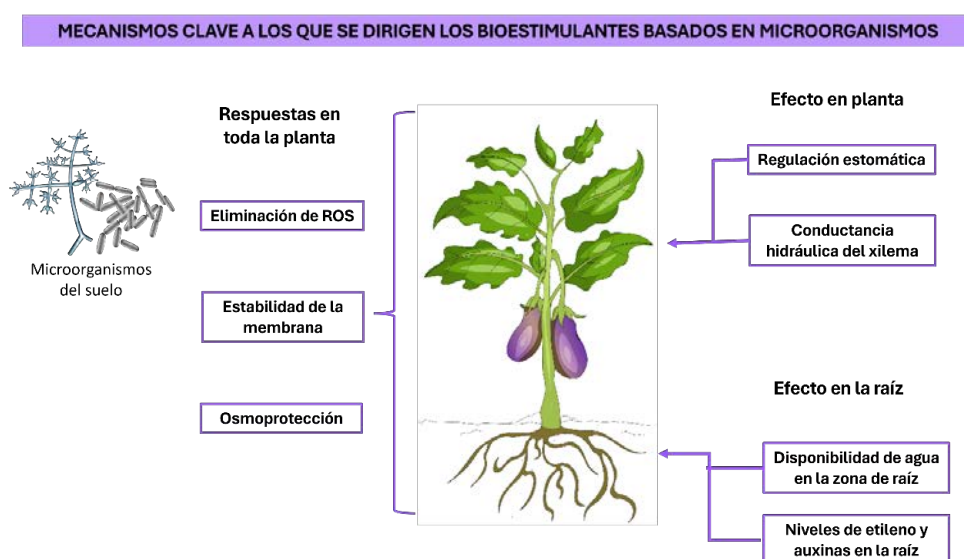
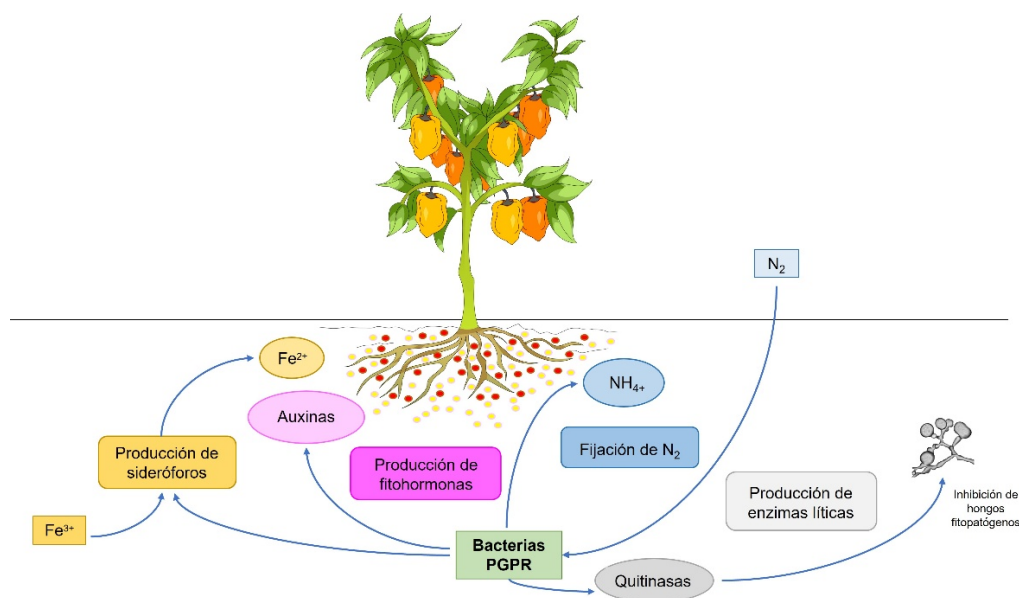


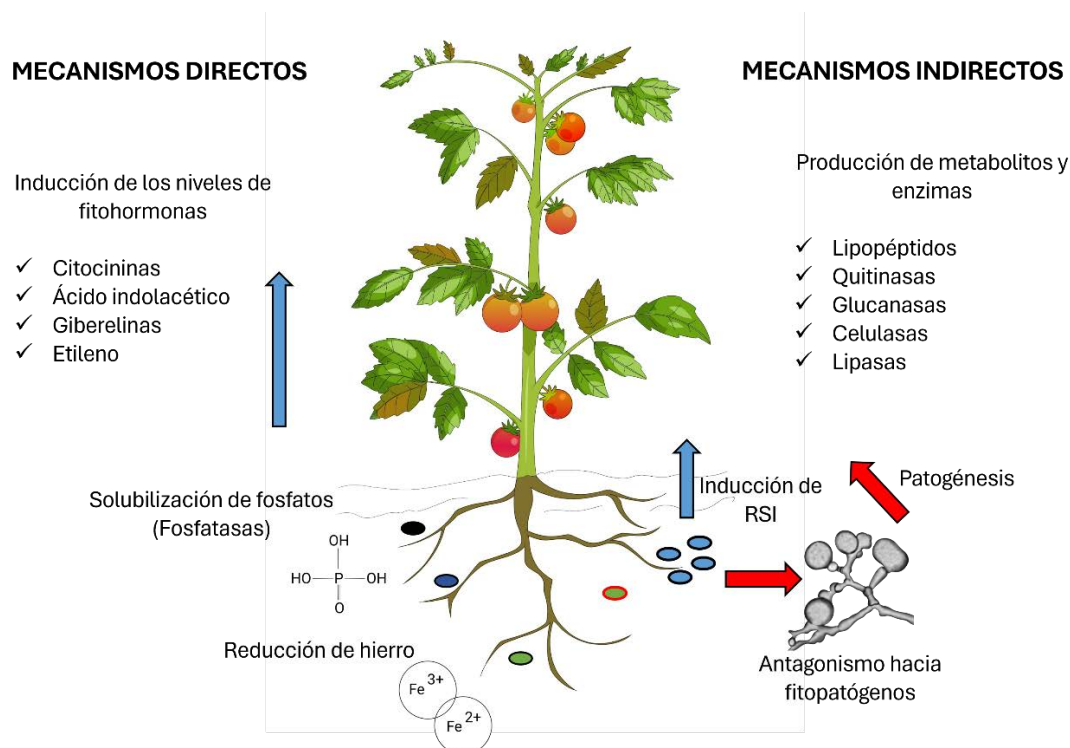
Figura 2. Acción de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Tomado de Murillo et al., 2024.



Las bacterias del género *Bacillus* pueden producir compuestos orgánicos, fijar nitrógeno y solubilizar fosfatos mediante enzimas como nitrogenasas y fitasas, con efectos positivos en la promoción del crecimiento vegetal y el aumento del potencial productivo (Corrales et al., 2017).

Las bacterias del género *Bacillus* tienen mecanismos directos e indirectos para estimular el crecimiento vegetal. Pueden inducir la síntesis de hormonas como citocininas, etileno y geberelina en las plantas. Además, pueden solubilizar fosfato y reducir el hierro, lo cual puede ser un mecanismo directo para mejorar la nutrición de las plantas. En cuanto a los mecanismos indirectos, pueden inducir sistemas de protección en la planta por medio de la secreción de compuestos que degradan la pared celular, por ejemplo, quitinasas, celulasas y glucanasas (Rojas-Solís et al., 2013) (Figura 2).

Figura 2. Mecanismos directos e indirectos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. Tomado de Murillo-Cuevas et al., 2024.



En el Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván se han aislado bacterias benéficas de suelo en áreas productivas de caña de azúcar, pasto, agroforestal y un acahual, con ellas se ha formulado un bioestimulante microbiano para mejorar el desarrollo de frutos de hortalizas como chiles verde y jitomate.

Este bioestimulante ha sido formulado con las bacterias *Bacillus subtilis* FDMC1, *Stenotrophomonas* sp. JAG2, *B. wiedmannii* JAG3, *Priestia megaterium* JAFV4 y *P. megaterium* AERM5, el cual se aplicó mensualmente al suelo dirigido al cuello de la planta (drench) a una dosis del 20 % (v/v) en una concentración de 10^6 UFC mL⁻¹ de cada cepa. El bioestimulante ha sido evaluado en chile jalapeño, habanero, serrano y jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel de dimensiones de 3 x 30 m

(90 m²), forrado con malla antiáfidos, con tapa trasera y doble puerta de seguridad para el acceso (Figura 3).

Figura 3. Macrotúneles con cultivos chile jalapeño (a) y jitomate (b) donde se evaluó el bioestimulante microbiano, ubicados en el Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.



Dentro de estos se usó un marco de planeación de una planta cada 25 cm a tres bolillos, dando un total de 120 plantas por cama y 240 por macrotúnel. Para evaluar el bioestimulante se usó una fertilización química mínima tradicional o reducida en un 25 o 50%. Las variables de respuesta fueron peso (g) del fruto y la producción por planta utilizando el peso (g) del total de frutos por planta de un corte de producción.

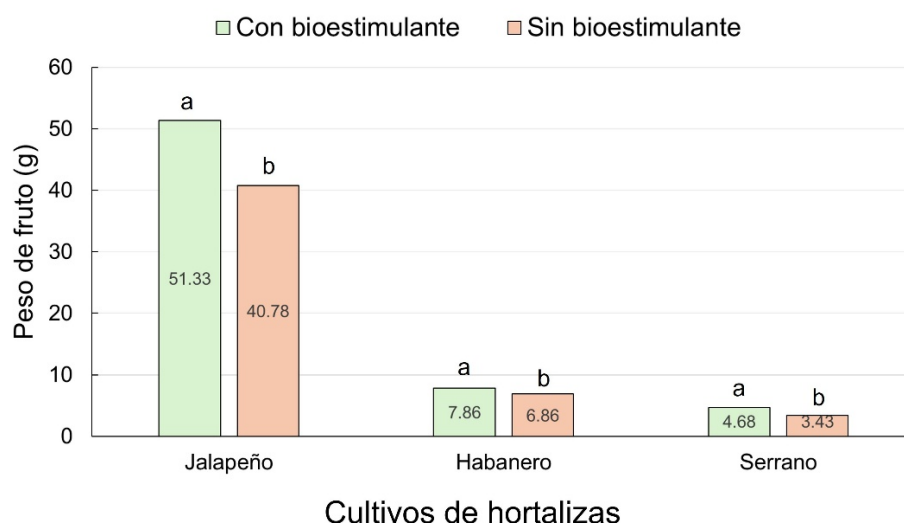
La significancia de las diferencias entre tratamientos se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA). En los casos en que se identificaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se empleó una prueba de comparación de medias de Tukey.

RESULTADOS

El bioestimulante microbiano a formulado con el pool las bacterias *B. subtilis* FDMC1, *Stenotrophomonas* sp. JAG2, *B. wiedmannii* JAG3, *P. megaterium* JAFV4 y *P. megaterium* AERM5 tuvo un efecto significativo en la promoción del incremento de peso de frutos y producción por planta en los cultivos de chile jalapeño, habanero y serrano (Figura 4 y 5); así como en la promoción del peso de fruto y producción por planta de jitomate (Figura 6).

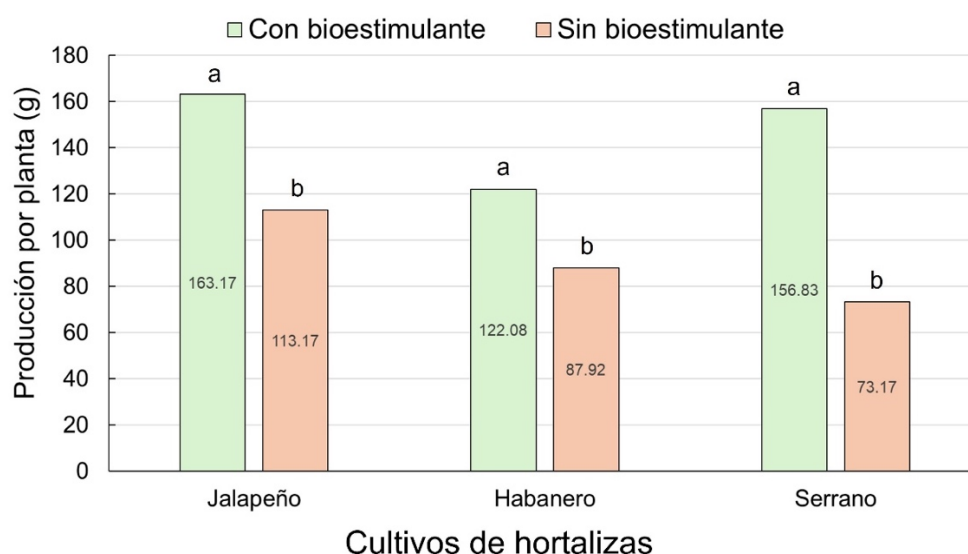
Con las aplicaciones del bioestimulante microbiano hubo un mayor incremento en el peso de frutos y producción por planta en chile serrano y jalapeño, siendo mayor en chile serrano (Figura 4). En chile jalapeño el incremento del peso de fruto fue de 20.6%, en habanero de 12.7% y en serrano de 26.7%.

Figura 4. Efecto del bioestimulante microbiano sobre el peso de fruto de chile jalapeño, habanero y serrano producidos en condiciones protegidas de macrotúnel.



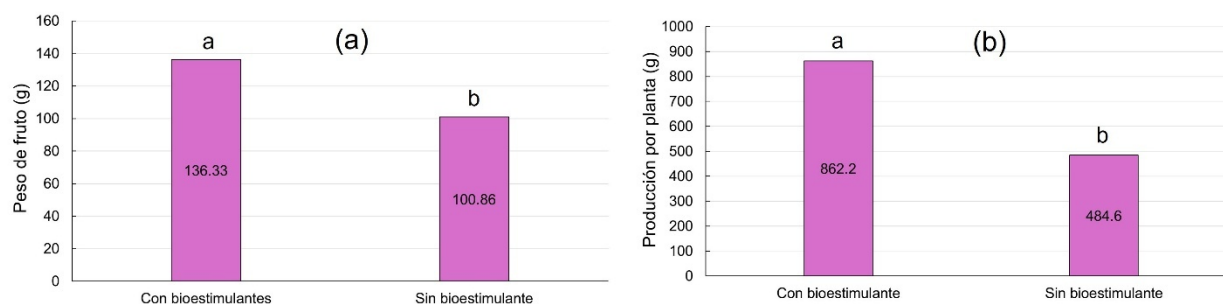
En la producción por plante, medida como peso de frutos, las aplicaciones del bioestimulante microbiano incrementaron 30.6% la producción en chile jalapeño, 28.0% la producción de habanero y 53.3% la producción de chile serrano, siendo este último cultivo el que registró el mayor incremento en la producción debido a las aplicaciones del bioestimulante.

Figura 5. Efecto del bioestimulante microbiano sobre la producción por planta de chile jalapeño, habanero y serrano producidos en condiciones protegidas de macrotúnel.



El cultivo de jitomate tuvo un buen incremento en el peso de frutos y producción por planta con las aplicaciones del bioestimulante microbiano (Figura 5). En peso de frutos el incremento obtenido fue del 26% y en producción por planta fue de 43.8%, incrementos similares a los obtenidos en chile jalapeño y serrano.

Figura 5. Efecto del bioestimulante microbiano sobre el peso de fruto (a) y producción por planta (b) de jitomate producido en condiciones protegidas de macrotúnel.



CONCLUSIONES

Existen evidencias técnicas y científicas del valor funcional de los microorganismos benéficos en la estimulación vegetal, con aplicaciones directas en la producción de alimentos vegetales en condiciones de estrés biótico y/o abiótico para las plantas, lo que permite una agricultura con enfoque sustentable, sostenible y/o de bajos insumos.

Con las aplicaciones del bioestimulante microbiano se pueden obtener ahorros del 25 y hasta del 50% en un manejo de bajos insumos químicos, lográndose una producción y calidad de frutos igual a la alcanzada con un 100% de la fertilización.

Las aplicaciones del bioestimulante con tasas reducidas de fertilización incrementaron significativamente la producción y dimensiones de los frutos de chile jalapeño, habanero, serrano y jitomate en comparación a lo obtenido sin aplicaciones.

REFERENCIAS

- Abdelaziz, M. E., Ahmed, A. H., Bekhid, R. S., and Pokluda, R. (2008). Response of growth patterns in sweet pepper to different NPK levels. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 56(1), 241-244. <https://doi.org/10.11118/actaun200856010241>
- Arthur, J. D., Li, T., & Bi, G. (2023). Plant Growth, Yield, and Quality of Containerized Heirloom Chile Pepper Cultivars Affected by Three Types of Biostimulants. *Horticulturae*, 9(1), 2-13.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian S. and Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in plant science*, 9, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Behie, S. W., and Bidochka, M. J. (2014). Nutrient transfer in plant–fungal symbioses. *Trends in plant science*, 19(11), 734-740.

- Bentamra, Z., Medjedded, H., Nemmiche, S., Benkhelifa, M. and dos Santos, D. R. (2023). Effect of NPK fertilizer on the biochemical response of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). *Notulae Scientia Biologicae*. 15(3): 11516-11516. <https://doi.org/10.55779/nsb15311516>
- Blake, C., Christensen, M. N., and Kovács, Á. T. (2021). Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(1), 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>
- Castillo-Aguilar, C., Ramírez-Luna, E., Wong-Cámara, C. G., Matos-Pech, G., Chiquini-Medina, R. A., Bautista-Parra, S. G. y Palma-Cancino, D. J. (2024). Rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con el uso de diferentes niveles de NPK en Campeche, México. *Revista Bio Ciencias*, 11, 1-12. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1581>
- Caulier, S., Nannan, C., Gillis, A., Licciardi, F., Bragard, C., and Mahillon, J. (2019). Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Frontiers in microbiology*, 10, 302,1-19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>
- Cedillo-Portugal, E. (2018). Implicaciones socioeconómicas por la implementación de programas de sanidad, calidad e inocuidad alimentaria en el sector productivo de frutas y hortalizas en México. *Agro Productividad*, 11(2), 140-146.
- Chafai, W., Haddioui, K., Serghini-Caid, H., Labazi, H., AlZain, M. N., Noman, O., Parvez, M.K. Addi, M. and Khalid, A. (2023). Impact of Arbuscular mycorrhizal fungal strains isolated from soil on the growth, yield, and fruit quality of tomato plants under different fertilization regimens. *Horticulturae*, 9(9), 1-18. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9090973>
- Corrales, R. L. C., Caycedo, L. L., Gómez, M. M. A., Ramos, R. S. J., and Rodríguez, T. J. N. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *NOVA*,15(27), 45-65.
- da Silva, J. M., Fontes, P. C. R., Milagres, C. D. C., and de Abreu, J. A. A. (2020). Yield and nitrogen use efficiency of bell pepper grown in SLAB fertigated with different nitrogen rates. *Journal of Plant Nutrition*, 43(18), 2833-2843. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1783297>
- Díaz-Vázquez, F. A., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Juárez-Maldonado, A., García-León, Á. and Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41, 1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1646>
- Estrada-Herrera, I. R., Hidalgo-Moreno, C., Guzmán-Plazola, R., Almaraz-Suárez, J. J., Navarro-Garza, H., Etchevers-Barra, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831.

- Gaiero, J. R., McCall, C. A., Thompson, K. A., Day, N. J., Best, A. S., and Dunfield, K. E. (2013). Inside the root microbiome: bacterial root endophytes and plant growth promotion. *American journal of botany*, 100(9), 1738-1750.
- Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P. y Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et technica*, 25(1), 172-183.
- Kaymak, H. Ç., Güvenç, İ., Yarali, F., and Dönmez, M. F. (2009). The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33(2), 173-179. <https://doi.org/10.3906/tar-0806-30>
- Kumar, K. V., Srivastava, S., Singh, N., and Behl, H. M. (2009). Role of metal resistant plant growth promoting bacteria in ameliorating fly ash to the growth of *Brassica juncea*. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.132>
- Lephatsi, M. M., Meyer, V., Piater, L. A., Dubery, I. A. and Tugizimana, F. (2021). Plant responses to abiotic stresses and rhizobacterial biostimulants: Metabolomics and epigenetics perspectives. *Metabolites*, 11(7), 1-31. <https://doi.org/10.3390/metabo11070457>
- López-Gómez, J. D., Sotelo Nava, H., Villegas-Torres, O. G. and Andrade Rodríguez, M. (2020). Yield and quality of habanero chili in response to driving pruning and nutritional regime. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(2), 315-325. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1777>
- Mendoza-Elos, M., Zamudio Alvarez, L. F., Cervantes Ortiz, F., Chable Moreno, F., Frías Pizano, J. y Gámez Vázquez, A. J. (2020). Rendimiento de semilla y calidad de fruto de chile habanero con fertilización química y orgánica. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1749-1761. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1960>
- Miguel-Ferrer, L., Romero-Arenas, O., Andrade-Hoyos, P., Sánchez- Morales, P., Rivera-Tapia, J. A., & Fernández-Pavía, S. P. (2021). Actividad antifúngica de *Trichoderma harzianum* y *T. koningiopsis* contra *Fusarium solani* asociado en la germinación y vigor de plántulas de chile Miahuateco. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(2), 228-247. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2101-5>
- Murillo, C. F. D., Adame, G. J., Cabrera, M. H. y Fernández, V. J. A. (2024). Genifix para una agricultura sostenible en hortalizas. Gobierno del Estado de Veracruz, SEV, COVEICYDET, TECNM, I. T. Úrsulo Galván. 1ed. Editorial de la Cuenca. Veracruz, México. 71P.

- Ottaiano, L., Di Mola, I., Cozzolino, E., El-Nakhel, C., Roupael, Y. and Mori, M. (2021). Biostimulant application under different nitrogen fertilization levels: Assessment of yield, leaf quality, and nitrogen metabolism of tunnel-grown lettuce. *Agronomy*, 11(8), 1-13. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081613>
- Rojas-Solís, D., Contreras-Pérez, M., and Santoyo, G. (2013). Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. *Biológicas*, 15(2), 36-41.
- Sánchez-Sánchez, A., Hernández, V., Hellín, P., Jiménez-Pérez, M., Rodríguez-Burruezo, A., Fenoll, J. and Flores, P. (2022). Impact of low-input management and microbial biostimulants on yields of traditional pepper varieties. *AgroLife Scientific Journal*, 11(1), 196-203. <https://doi.org/10.17930/AGL2022123>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N. and Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules*, 11(5), 1-53. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>
- SIAP. (2024). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Cierre de la producción agrícola. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Resumen nacional por cultivo y variedad. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Shoresh, M., Harman, G. E., and Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual review of phytopathology*, 48, 21-43. <https://doi.org/10.1146/annurevphyto-073009-114450>
- Thakur, R., Dhar, H., Swarnkar, M. K., Soni, R., Sharma, K. C., Singh, A. K., ... and Gulati, A. (2024). Understanding the Molecular Mechanism of PGPR Strain *Priestia megaterium* from Tea Rhizosphere for Stress Alleviation and Crop Growth Enhancement. *Plant Stress*, 12, 100494. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100494>
- Voccianti, M., Grifoni, M., Fusini, D., Petruzzelli, G. and Franchi, E. (2022). The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. *Applied Sciences*, 12(3), 1231, 1-16. <https://doi.org/10.3390/app12031231>
- Zhang, C., Shen, L., Yang, S., Chang, T., Luo, M., Zhen, S. and Ji, X. (2024). Effect of Nitrogen Fertilizer on Capsaicinoids and Related Metabolic Substances of Dried Chili Pepper Fruit. *Horticulturae*, 10(8): 831. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080831>

DOSIFICACIÓN DE HOJARASCA Y EXCRETAS OVINAS COMO FUENTE ALIMENTICIA DE *Eisenia foetida*

Mercedes Muraira Soto¹

Dulce Yamira Cuevas Hernández²

Rubén Sánchez Trejo³

Roberto Panuncio Mora Solís⁴

Emanuel Pérez López⁵

RESUMEN

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es una herramienta biotecnológica actual utilizada en el proceso de reciclaje de desechos orgánicos para convertirlos en vermicomposta. Ésta tiene como principal atribución hacia los suelos el aumento de población y actividad microbiana, factores clave para las tasas de reciclaje de nutrientes del suelo. El objetivo fue evaluar el efecto de las dosis de hojarasca y excretas ovinas como sustratos en la alimentación de *Eisenia foetida* utilizando los siguientes tratamientos: T1 (0% hojarasca + 100% estiércol ovino), T2 (25% hojarasca + 75% estiércol ovino) y T3 (50% hojarasca + 50% estiércol ovino), cada uno con cinco repeticiones, teniendo en total 15 unidades experimentales, además de determinar cuál presenta mayor incremento en reproducción y masa de lombrices. El método consistió en la recolección de los sustratos mencionados, tamizado, precomposteo, conteo, pesado y siembra de lombrices en contenedores, habiendo colocado 100 individuos en cada unidad experimental, utilizando un total de 1500 lombrices; semanalmente se realizó el conteo y pesado de éstas, así como el aireado y aplicación de agua. El Tratamiento 2 fue el mejor, ya que reportó mayor reproducción de lombrices (promedio final: 107) y mayor incremento en masa, con una media de 36.80 gramos.

Palabras clave: desechos orgánicos, *Eisenia foetida*, estiércol, vermicomposta.

ABSTRACT

The Californian red worm (*Eisenia foetida*) is a current biotechnological tool used in the process of recycling organic waste to convert it into vermicompost. Its main attribute to the soil is the increase in microbial population and activity, key factors for soil nutrient recycling rates. The objective was to

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. mercedes.ms@cpapaloapan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. L19810015@cpapaloapan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. ruben.st@cpapaloapan.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. robertopanuncio.ms@cpapaloapan.tecnm.mx

⁵ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan. emanuel.pl@cpapaloapan.tecnm.mx

evaluate the effect of leaf litter and sheep manure as substrates on the feeding of *Eisenia foetida* using the following treatments: T1 (0% leaf litter + 100% sheep manure), T2 (25% leaf litter + 75% sheep manure), and T3 (50% leaf litter + 50% sheep manure), each with five replicates, having a total of 15 experimental units, in addition to determining which presents the greatest increase in reproduction and worm mass. The method consisted of collecting the aforementioned substrates, sieving, pre-composting, counting, weighing, and planting worms in containers. Each experimental unit contained 100 individuals, using a total of 1,500 worms. These were counted and weighed weekly, as well as aerated and watered. Treatment 2 was the best, as it showed greater worm reproduction (final average: 107) and a greater increase in mass, with a mean of 36.80 grams.

Keywords: organic waste, *Eisenia foetida*, manure, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

La vermicultura o lombricultura es una técnica que a nivel mundial ha ido incrementando como una solución a los problemas que causa la acumulación de residuos orgánicos. Dicha acumulación generada por diversas actividades antropogénicas y excretas de especies animales, tales como las de ganado ovino, pueden ocasionar la aparición de focos de infección, proliferación de moscas y contaminación de agua y suelos; por lo que la vermicultura se considera como una alternativa de reciclaje, rápida y con bajos costos de inversión.

Los residuos orgánicos, tales como el estiércol de diferentes especies animales, son una buena fuente significativa de patógenos que generan malos olores, además de contaminar tanto al agua, como al aire y suelo, siendo la vermicomposta una de las mejores opciones para disminuir el riesgo de contaminación ambiental. Además, el tratamiento de estos residuos es un tema que ha cobrado relevancia durante los últimos años, debido a los problemas ocasionados por la contaminación y el mal manejo de éstos.

El vermicomposteo (vermicompostaje) es un proceso sencillo de descomposición, degradación y estabilización de la materia orgánica (Khatua *et al.*, 2018), mediado por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas. Con el propósito de convertir residuos orgánicos en vermicomposta, la cual puede utilizarse como nutrimentos que se adhieren al suelo para obtener una buena productividad (Mendoza, 2018).

Eisenia foetida (lombriz roja californiana) es una de las especies más utilizadas por su inmensa capacidad de adaptarse a diferentes residuos orgánicos, pH (5.5 a 8.0), temperatura (16 °C a 25 °C) y humedad (70 % a 85 %) y es de fácil manejo en cautiverio. También es muy voraz y en condiciones

óptimas puede llegar a consumir diariamente una cantidad de residuo orgánico equivalente a su masa, razones por la que es preferida en la lombricultura (Sánchez, 2018).

Por otra parte, Das *et al.* (2016) afirma que *Eisenia foetida* es la especie más utilizada debido a su amplio rango de tolerancia a la temperatura, contenido de humedad, pH y metales pesados; de igual manera, por su gran potencial para la degradación de diferentes tipos de desperdicios orgánicos y a la calidad de vermicomposta que produce.

De acuerdo con Ramírez - Gerardo *et al.* (2021) la vermicomposta es utilizada porque contribuye a mantener suelos sanos y fértiles debido a que es fuente de nutrimentos, principalmente N, P, K, Ca y Mg, y porque mejora sus características físicas, como la textura, densidad aparente, formación y estabilidad de agregados, y características químicas como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), saturación de bases intercambiables, aporte de materia orgánica y nutrimentos del suelo y, en consecuencia, la productividad de los cultivos.

El objetivo general de esta investigación consistió en evaluar y determinar el efecto de diversas dosis de excretas de ganado ovino y hojarasca como sustrato en la alimentación de *Eisenia foetida*. Y los objetivos específicos fueron: determinar cuál de los tratamientos utilizados presenta mayor incremento en masa de lombriz roja californiana y evaluar su comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida*, para identificar el tratamiento que presente mayor población.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de investigación se realizó en el Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, situado en Avenida Tecnológico No. 21, San Bartolo, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68446, durante el periodo comprendido de Agosto a Diciembre de 2024. Colinda al Norte con el estado de Veracruz, al Sur con los municipios de Santiago Jocotepec, Santa María Jacatepec y San José Chiltepec, al Este con el municipio de Loma Bonita y al Oeste con los municipios de San Lucas Ojitlán y San Miguel Soyaltepec. Se encuentra entre las coordenadas 18.092222 de latitud Norte y -96.107500 de longitud Oeste, a una altura aproximada de 20 metros sobre el nivel del mar y su clima es tropical (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de estudio.



Tomada de INEGI (2020).

Se realizó la colecta de los sustratos que se utilizaron en este experimento (hojarasca y excretas de ganado ovino) y se trasladaron al Área de Lombricultura del Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, 3 meses aproximadamente antes de iniciarse el experimento, habiéndolos aireado cada dos días, de manera separada, y tamizado con una malla de 5 mm, con la finalidad de fraccionar el tamaño de las partículas y reducir el tiempo del proceso de precomposteo, además, para favorecer tanto el crecimiento como la reproducción de la lombriz roja californiana. Una vez concluido dicho proceso, se pesaron 2 kg de los sustratos y se mezclaron de acuerdo con los porcentajes indicados en el Cuadro 1, para los Tratamientos 2 y 3, y se les aplicó el agua necesaria para iniciar el proceso de vermicomposteo. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cinco repeticiones cada uno, dando un total de 15 unidades experimentales.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados.

Tratamiento	% de hojarasca	% de estiércol
T1	0	100
T2	25	75
T3	50	50

Fuente: elaboración propia (Muraira-Cuevas, 2025).

Posteriormente, a cada tratamiento se le aplicó la prueba de caja, la cual consistió en colocar una cantidad pequeña de sustrato en una charola de unicel a la que se le agregaron 10 lombrices provenientes del Área de Lombricultura del Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, las cuales se dejaron reposar durante 24 y 48 horas, respectivamente (Ferruzzi, 2001), para comprobar si estaban aptas para que se sembraran en los contenedores, siempre y cuando todas sobrevivieran.

A continuación, se realizó el conteo y pesado de 100 lombrices, para posteriormente realizar su siembra en cada uno de los contenedores de plástico resistente, que previamente ya estaban etiquetados, habiéndose efectuado esto en todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones, dando un total de 1500 lombrices para todo el experimento (el conteo se realizó de manera manual y su medición de masa utilizando una balanza analítica marca Ohaus® modelo Pionner, cada semana, durante el tiempo que duró el proyecto).

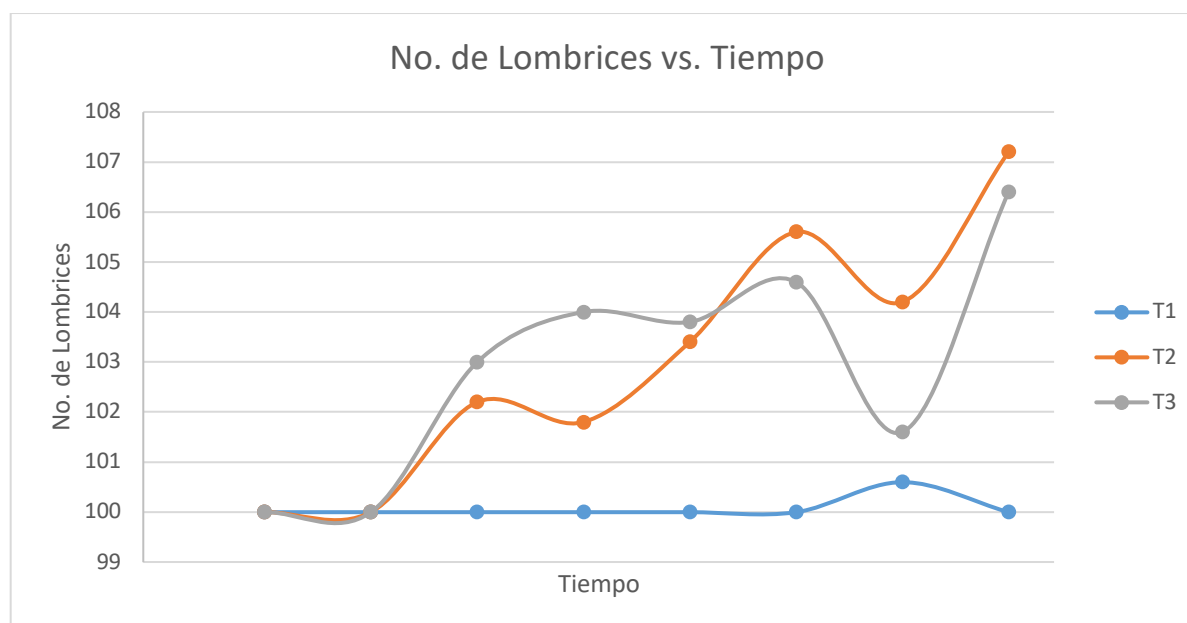
Al finalizar el proceso de vermicompostaje, se volvieron a contar las lombrices, en seguida se tamizaron las muestras de vermicomposta, se pusieron a secar a la temperatura ambiente, en un lugar techado y luego se midió la masa correspondiente de cada una utilizando una balanza granataria marca Ohaus. Por último, se envasó la vermicomposta obtenida, en bolsas de plástico con capacidad de 1 kilogramo, se sellaron y almacenaron en un lugar seco y fresco.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos correspondientes al número y masa de lombrices se tabularon en el Software Microsoft Excel, habiéndose obtenido los resultados que se muestran en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

En cuanto al número de lombrices, en la Figura 2, se observa que el tratamiento T2 es el que presenta la mayor cantidad de lombriz roja californiana, seguida por los tratamientos T3 y T1.

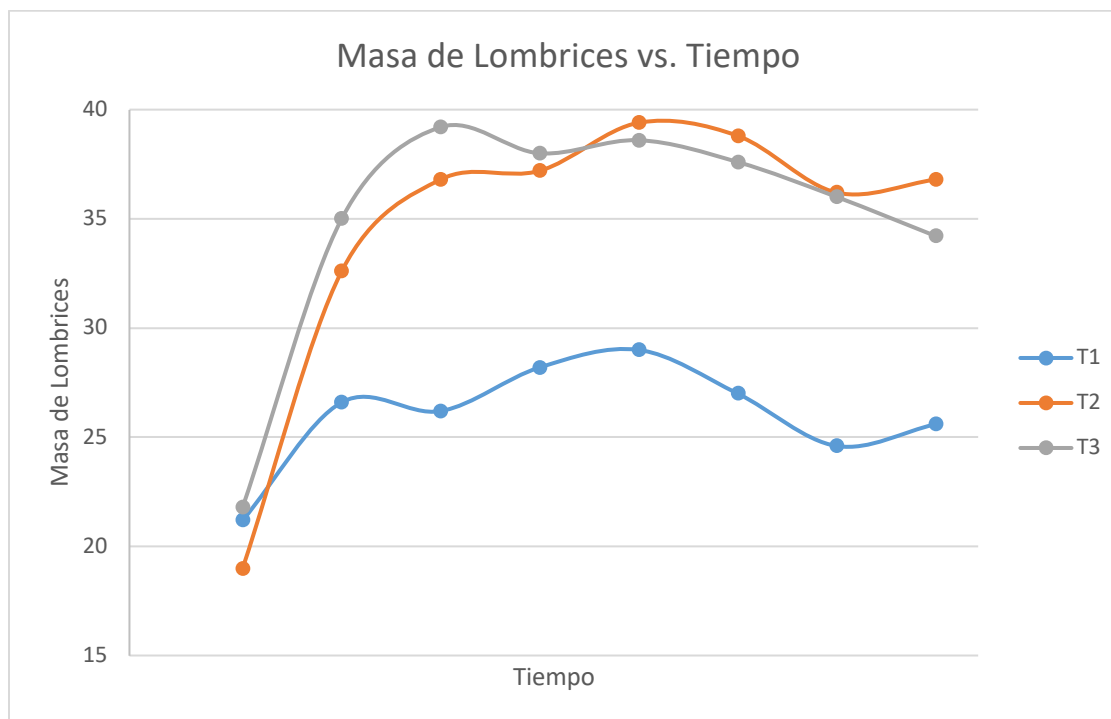
Figura 2. Número de lombrices vs. tiempo.



Fuente: elaboración propia (Muraira-Cuevas, 2025).

En la Figura 3, también se aprecia que el tratamiento T2 presenta un incremento en masa de lombrices mayor que los tratamientos T3 y T1, respectivamente.

Figura 3. Masa de lombrices vs. tiempo.



Fuente: elaboración propia (Muraira-Cuevas, 2025).

Con base en los resultados obtenidos, se determina que la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa puesto que el tratamiento T2 (25% de hojarasca + 75% de estiércol ovino) es significativamente diferentes a los demás.

- La media final de lombrices que se obtuvo en el T2 (25% de hojarasca + 75% de estiércol ovino) fue de 107.2, la cual supera a los resultados obtenidos por Morales *et al.* (2009) quienes obtuvieron un promedio de 100.6.

El promedio de la masa para el T2 (25% de hojarasca + 75% de estiércol ovino) fue de 36.80 gramos, el cual es menor en comparación con los resultados obtenidos por Rocha (2020), quien obtuvo una media de 166.66 gramos, haciéndose la observación que en este caso utilizó el 100% de estiércol ovino.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que:

- El tratamiento con mayor reproducción de lombrices fue el T2 con un promedio final de 107.2, seguido de los tratamientos T3 y T1, con 106.4 y 100, respectivamente.
- Con respecto a la relación de la ganancia en masa de *Eisenia foetida*, el tratamiento que presentó mayor valor fue el T2 con una media de 36.80 gramos, seguido respectivamente de los Tratamientos T3 y T1, con 34.21 y 25.60 gramos.

- Los autores de este proyecto investigativo consideran que la vermicultura es una técnica propia de la agricultura orgánica que los pequeños y medianos productores agrícolas, de la región de la Cuenca del Papaloapan, pueden practicar y difundir, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida del sector rural, la calidad del suelo y disminuir los efectos de la contaminación ambiental.

REFERENCIAS

- Das, D., Bhattacharyya, P., Ghosh, Y. B., y Banick, P. (2016). Bioconversion and biodinamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies. *Ecological Engineering* 86, 154-161.
- Ferruzzi, C. (2001). *Manual de lombricultura*. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España.
- Khatua C., Sengunpta S., Balla V.K., Kundu B., Chakraborti A. & Tripathi S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana Stem waste using *Eisenia foetida*. *Waste Management*, 79: 287-295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>.
- Mendoza, E.L. (2018). Efecto de tres dosis de sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con estiércol bovino y aserrín descompuesto en Sapecho, Alto Beni. Revista APTHAPI, 4:1128-1138. <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/246>.
- Morales, M. J. C.; Fernández, R. M. V.; Montiel, C. A. y Peralta, B. B. C. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnica*. 11(1):19-26
- Ramírez-Gerardo, M. G., Vázquez-Villegas. S., Méndez-Gómez. G. I., & Mejía-Carranza, J. (2021). Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México. *Ciencia UAT*, 16(1), 150-161.
- Rocha, L. E. (2020). Elaboración de lombricomposta bajo distintas dietas con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Abasolo, Guanajuato.
- Sánchez, J. J. (2018). Evaluación del proceso de elaboración de vermicomposta con dos especies de lombriz, *Eisenia foetida* y *Lumbricus* sp., en la provincia de Arequipa [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Recuperado el 23 de mayo de 2025 de: <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/38061d42-ce4d-4a45-bb4b-a94d62c11e55/download>

REQUISITOS MÍNIMOS QUE UNA NANOEMPRESA DE HORTALIZAS DEBE CUMPLIR PARA SER PROVEEDOR DE LA MICRO Y PEQUEÑA EMPRESA EN VALLADOLID, YUCATÁN, MÉXICO

Francisco de Asis Chuc Pech¹

Julia Mercedes Canul Dzul²

RESUMEN

El cultivo de hortalizas es una actividad no regulada por el gobierno y pertenece a la economía informal, sin embargo, en México es una actividad que se realiza en las pequeñas ciudades de las provincias. Las entidades económicas encargadas de esta actividad se denominan nanoempresas, en el presente artículo se estudiaron 8 de ellas dedicadas a la producción y comercialización de hortalizas de traspatio que se encontraban en la ciudad de Valladolid, Yucatán, México desde un estudio mixto: una parte experimental que incluyó una entrevista de profundidad, dos checklist y un seguimiento de 6 semanas; la otra parte es cualitativa analizando a un total de 65 microempresas sobre 4 requisitos que requieren tengan sus clientes agrícolas: del producto, de la nanoempresa, estratégico y comercial. El objetivo del estudio fue identificar los requisitos mínimos que la micro y pequeña empresa de la ciudad de Valladolid, Yucatán, México solicita a las nanoempresas para que estas se conviertan en proveedoras. Los resultados de ambos estudios fueron confrontados, obteniéndose 9 requisitos: productos de calidad, productos higiénicos, ventas al menudeo y mayoreo, precio de acuerdo a la temporada, servicio al cliente, promoción y descuento en compras al por mayor, amplia variedad de productos (se requieren mínimo 3), servicios extras como entrega a domicilio y uso de redes sociales y productos empaquetados.

Palabras clave: Nanoempresas, requisitos, hortalizas, comercialización, traspatio, calidad, mercadotecnia, estratégicos

ABSTRACT

MIPEs Vegetable cultivation is an activity not regulated by the government and belongs to the informal economy; however, in Mexico it is an activity that is carried out in small towns in the provinces. The economic entities in charge of this activity are called nanoenterprises, in this article 8 of them dedicated to the production and marketing of backyard vegetables that were in the city of Valladolid, Yucatán, Mexico were studied from a mixed study: an experimental part which included an in-depth interview,

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Valladolid. francisco.cp@valladolid.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Valladolid. Julia.cd@valladolid.tecnm.mx

two checklists and a 6-week follow-up: the other part is qualitative, analyzing a total of 65 microenterprises on 4 requirements that their agricultural clients have: product, nanoenterprise, strategic and commercial. The objective of the study was to identify the minimum requirements that micro and small businesses in the city of Valladolid, Yucatán, Mexico request from nanobusinesses so that they become suppliers. The results of both studies were compared, obtaining 9 requirements: quality products, hygienic products, retail and wholesale sales, price according to the season, customer service, promotion and discount on wholesale purchases, wide variety of products (minimum 3) are required, extra services such as home delivery and use of social networks and packaged products.

INTRODUCCIÓN

Los huertos familiares son parcelas donde se cultivan hortalizas y generalmente es destinada para el autoconsumo familiar, pero en algunas de las localidades del oriente del estado de Yucatán también pueden comercializarse para ser una fuente de ingreso.

Hoy en día existen las nanoempresas que son consideradas como organismo conformado por una o dos personas, como lo serían aquellos que se dedica a cultivar hortalizas y comercializarla. Es importante contribuir al crecimiento de estos pequeños organismos, adquiriendo nuevos conocimientos sobre el trabajo en las hortalizas y mejorar sus estrategias de negocio.

Es una investigación que brinda información acerca de los requisitos necesarios que deben cumplir los huertos familiares para que puedan ser proveedores de las micro y pequeñas empresas. Por esta razón a través de la presente investigación se generó datos por medio del diseño y la aplicación de instrumentos como encuestas y hoja de observación, con el fin de estudiar al cliente y las microempresas, así como también la realización de visitas de campo para conocer a profundidad el huerto familiar para obtener resultados pertinentes para llegar a una conclusión y generar la información requerida.

De la MIPES incluidas en la muestra el 51% compra a mayoristas, el 17% a minoristas y solamente el 32% adquiere a productores agrícolas de la comunidad, esto hace suponer que existe mercado para que las nanoempresas de la localidad abastezcan a las micro empresas de la localidad; en el segundo apartado de la investigación en donde se monitoreo a 8 nanoempresas se consideraron el cultivo de chile habanero, cilantro, zanahoria, cebollina y yerbabuena en orden de importancia.

Planteamiento del problema

Se ha identificado que hay nanoempresas dedicadas a la siembra de hortalizas y solo se enfocan en vender sus productos a la misma comunidad o a menudeo, cuando pudieran vender y ser proveedores de las micro y pequeñas empresas, entonces ¿La discrepancia entre los requisitos mínimos solicitados

por las MYPEs y las fortalezas de las nanoempresas impide que estas sean consideradas proveedores de estas?, es por ello que se dio a la tarea de determinar qué es lo que ocasiona que las MYPEs solo opten por adquirir sus productos a mercados más grandes y que requisitos mínimos necesita los huertos familiares para ser considerados un posible proveedor.

Objetivos

La investigación tuvo por objetivo determinar los requisitos mínimos que necesita una nanoempresa de hortalizas para que sea proveedor de las micro y pequeñas empresas del oriente del estado de Yucatán. Estos se desdoblaron en analizar los requisitos y contrastar los requisitos con las fortalezas de las nanoempresas.

Justificación

La agricultura es una actividad que se encuentra incluida en el sector primario que contribuyen a la sustentabilidad en las comunidades, de modo que se practican los huertos familiares, estos huertos son considerados como una actividad que tiene la capacidad de generar ingresos. Fue conveniente realizar esta investigación porque contribuye a determinar por qué las nanoempresas no son consideradas proveedores por las micro y pequeña empresa y cuáles son los requisitos indispensables que requiere el huerto familiar. Además, es importante mencionar que la investigación beneficia a las familias porque ayuda a identificar estrategias para mejorar en calidad y ciertas características específicas que deben poseer para llegar a ser proveedores y de esta forma logren generar mejores ingresos y mejores productos, aunque dicho estudio se realizó en la ciudad de Valladolid, Yucatán las conclusiones se pueden aplicar a otras partes en donde se realice las cosechas de traspatio.

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de nanoempresa

Palomino (2020) define a los nanoempresarios como aquellas personas que se adhieren a una iniciativa y utilizan los recursos humanos, económicos y materiales para realizar actividades como medio de ganarse la vida en diversas circunstancias, además de depender de los servicios prestados y de las ventas realizadas. Todo nanoempresario tiene ambiciones, algunas se logran a través del trabajo duro, con mayores desafíos, mayor inversión y mayores riesgos; esperando que aumenten las ganancias.

De acuerdo con García y Fernández (2005) y Raydán (2010) citado por Alvarado(2021) reconocen al nanoempresario como un trabajador autónomo que realiza actividades empresariales por cuenta propia y normalmente no tienen un jefe inmediato, ni tampoco cuenta con una salario fijo como remuneración.

Ljungberg (2014) citado por Gonzáles (2015) menciona que la denominación de nanoempresa deviene de la utilización del prefijo nano cuyo origen es griego y que se emplea para denominar a aquellas unidades empresariales constituidas por una sola persona que es varias ocasiones es la propietaria y único miembro Andrade, et.al., (2010) señalan se enfoca en aquellas empresas informales, sin una estructura formal, asimismo sostienen que alguna de sus características es que no es considerada como una organización puesto que no posee miembros por lo que carece de estructura de relaciones en su interior, no del mismo modo con el exterior con quienes mantiene relaciones de subordinación con clientes, proveedores y competidores; esta misma característica de relaciones es la misma que se presentan con sus procesos de influencia que mayormente se encuentran con el exterior en donde además de los citados establece un proceso de influencia con el gobierno y la sociedad.

Alvarado Lagunas (2021), señala que los nanoempresarios son aquellas personas físicas que no perciben una remuneración salarial al momento de ejercer en nombre propio una actividad empresarial, profesional o económica, que no cuentan con un contrato de trabajo, su emprendimiento se encuentra dentro de la informalidad y que se encuentran en esa situación por falta de ingresos familiares o empleos.

Ljungberg, (2014) citado por González, A. (2015) menciona que:

Existen algunos antecedentes en el mundo sobre el concepto de nanoempresa, por ejemplo en España, “el Directorio Central de Empresas (DIRCE) de fecha 1º de enero de 2007, indica que había 1’237.792 personas físicas no asalariadas realizando actividad económica y 471.294 con un máximo de dos asalariados lo que hace un total de 1’709.086 personas físicas bajo forma no societaria, las cuales no son asociaciones especialmente obreras, El mismo autor indica (The free dictionary, 2014) que entrarían bajo una posible interpretación de nanoempresas. La denominación que se les empieza a dar en algunas regiones del mundo son las de nanoempresarios.” (p. 175-186)

Algunas de las características de una nanoempresa de acuerdo con Ljungberg (2024) citado por González (2015) son: pocos miembros, estructura organizacional pobre, no existen proceso de influencia de los miembros, las relaciones de poder son bajas, no hay división de tareas lo que evita conflictos y persiguen finalidades de lucro.

Definición de hortaliza

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2016) las hortalizas se denominan a un grupo de plantas que se cultivan en huertos, se consume crudo como alimento o cocido a través de diferentes preparaciones. Incluye verduras, legumbres verdes y guisantes; a diferencia de la fruta, no es dulce, sino salada. Estas plantaciones comestibles son ricas en vitamina C, carotenos, calcio y hierro, que son beneficiosos para la salud humana. Asimismo, ayudan principalmente a la hidratación

del organismo humano, eliminan sustancias tóxicas y reducen el riesgo de muchas enfermedades. Aunque cabe señalar que su crecimiento y desarrollo dependen de la disponibilidad de agua, minerales de la superficie terrestre y protección contra plagas y enfermedades

Por su parte Hernández y Sastre (1999) refiere a las hortalizas como a las plantas comestibles que se cultivan en huertos, esto es, plantas herbáceas hortícolas, de las que se utilizan las partes comestibles y que corresponden a diferentes partes del vegetal, pueden consumirse en estado fresco en algunos casos y en otros sometidos a tratamiento culinario; también se someten a diferentes métodos de conservación que permiten ampliar su periodo de vida útil, obteniendo distintos derivados.

Bautista y Palacio

“Las principales innovaciones en las hortalizas comprenden la construcción de eras (espacios de tierra limpia y firme) y siembras de productos menores, como el cilantro, colinabo, lechuga y rábano; en el caso de hortalizas frutales y maderables de traspatio estas se dan por el empleo de la mano de obra de la familia.” (P. 227)

Landon (2005) opina que:

Con la ayuda de una cadena de comercialización más completa que incluya medios de transporte y financiamiento, los nanoempresarios del sector primarios pueden orientar sus esfuerzos de venta a mercados mas importantes en centros urbanos y vecinos; la desventaja es que esos mercados demandan sistemas de producción de hortalizas mas especializados que garanticen la calidad y el volumen y frecuencia de entrega. (P22).

Entonces existen aspectos relevantes que es importante considerar para ser un buen proveedor de hortalizas.

Zoppolo (2008). Indica que uno de los retos cuando se presentan situaciones de mejoramiento de los procesos productivos de las hortalizas implican la ampliación y adecuación del terreno de cultivo, el autor indica que lo adecuado es una superficie de 70 m² de terreno para producir hortalizas frescas básicas para una familia de hasta 5 integrantes durante el periodo de un año. (P.20)

Entorno empresarial en México.

En México, existen millones de personas que administran o son propietarios de un negocio que no están formalizados antes las autoridades pertinentes, en el caso de México es el Servicio de Administración Tributaria, esto indica que estas empresas no hacen el pago de impuesto correspondiente o no proporcionan la información sobre las actividades empresariales realizadas. Las actividades que realizan esos nanoempresarios informales son tan variadas que van desde la producción de un insumo, el proceso de transformación, la comercialización de estos servicios hasta la prestación de un servicio. Otra característica de estas empresas informales en México son que

cuentan con personal que van hasta un máximo de 5, quienes obtienen algún beneficio económico pero que no están registrados en algún régimen de seguridad social, estas empresas pueden tener o no un establecimiento fijo, pero aportan al Producto Interno Bruto (González, 2015).

Según la Forbes México (2015) citado por Equipo Legal México (2021) En México, el 99.7% de las empresas son micro, pequeñas y medianas; de estas, su totalidad son del tipo personal, unifamiliar o bifamiliar” bajo este enfoque si en las sociedades mexicanas los accionistas buscan proteger su patrimonio encaminando sus esfuerzos personales y corporativos, entonces en la micro, pequeña y mediana empresas estas actividades lo realizan desde la familia o el único propietario.

El Banco Mundial (2022) citado Castillo y Muñoz, en el artículo Índices de la permanencia empresarial en México (2023) expresó una disminución en la actividad económica del 5.5.% en 2021 y 4.1% en 2022, acompañada por un proceso inflacionario a raíz de la pandemia propagada por la COVID-19 y sus rebrotes.

De acuerdo Sánchez y Hernández (2011) citado por Tello (2013) las características más reincidentes de las Mipymes en México están relacionadas con la falta de estructura administrativa, la falta de límite en las garantías, la poca o nula información financiera y el historial crediticio, pero aun con estas carencias, las Mipymes producen la mitad del PIB del país a pesar de que, en términos de generación de empleos, casi el 95% del total de ellas tienen menos de 3 trabajadores.

La estrategia de una empresa no depende del tamaño sino radica en la claridad de los objetivos, el conocimiento del negocio, así como la motivación para el crecimiento, esto se resume en el riesgo a invertir y mejorar los procesos productivos.

METODOLOGÍA

Diseño de la investigación

La investigación fue un estudio mixto, la parte descriptiva incluye las entrevistas realizadas a las MIPES y la entrevista de profundidad realizada a la nanoempresas, en tanto que la parte experimental incluyó el seguimiento que se realizó a las 8 nanoempresas, en donde se analizó una cosecha completa de las hortalizas por medio del check list de producción y el de ventas.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las técnicas de recolección de datos empleados incluyen la observación, el diario de campo, la entrevista y el cuestionario; así mismo para la recolección. La encuesta para MIPES tuvo como objetivo recabar información sobre las características de compra de cada hortaliza; con la entrevista de profundidad para las nanoempresas se realizó un diagnóstico general sobre el cultivo y comercialización, los check list de producción y de ventas sirvió para evaluar a cada nanoempresa

desde los enfoques correspondientes mientras se realizaba el experimento que duró aproximadamente 6 semanas.

Muestra

El tipo de muestra empleado para determinar el número de MIPES sujetas al estudio fue aleatorio considerando como población 2,311 empresas dedicadas al comercio al por menor de acuerdo al Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE) y considerando un máximo de 10 personas, quienes se encuentran ubicadas en el municipio de Valladolid, Yucatán, México; aunado a una probabilidad de 89%, los resultados arrojaron a 65 MIPES a estudiar, las cuales se encuentran distribuidas por giros en la tabla 1.

Tabla 3.- Giro de las MIPES del estudio

Giro	Frecuencia
Comercialización de frutas y verduras	27
Comercialización de carne de todo tipo	3
Producción y venta de tortilla	2
Vendedor ambulante	7
Vendedor de hortalizas (local fijo)	13
Otro	13
Total	65

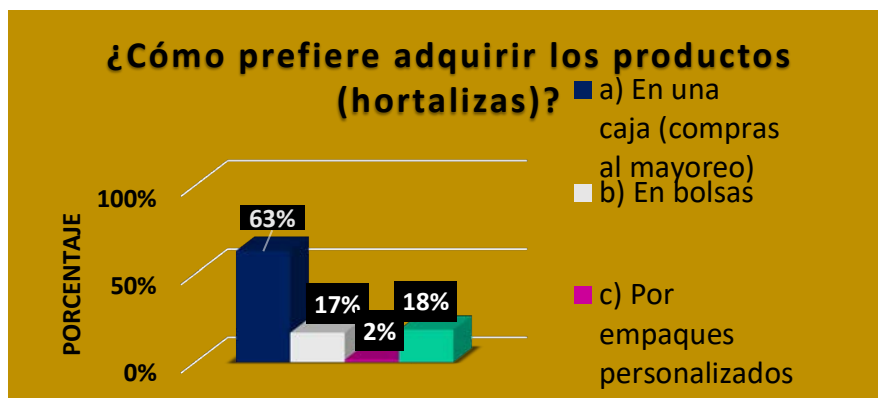
Fuente: propia

El tipo de muestra empleada para el seguimiento de las Nanoempresas fue de acuerdo a la conveniencia de la investigación, para esto se solicitó el apoyo de 8 estudiantes quienes dieron seguimiento a la producción y comercialización de una nanoempresa durante 6 semanas haciendo al menos 3 visitas: la primera de diagnóstico, la segunda de seguimiento y la tercera de cierre corroborando los resultados finales.

RESULTADOS

A las micro y pequeñas empresas se les solicitó el tipo de empaque más prácticos para el manejo de las hortalizas, la gráfica 1 presenta los resultados en donde se aprecia que el 63% de las MIPES adquieren sus productos en cajas.

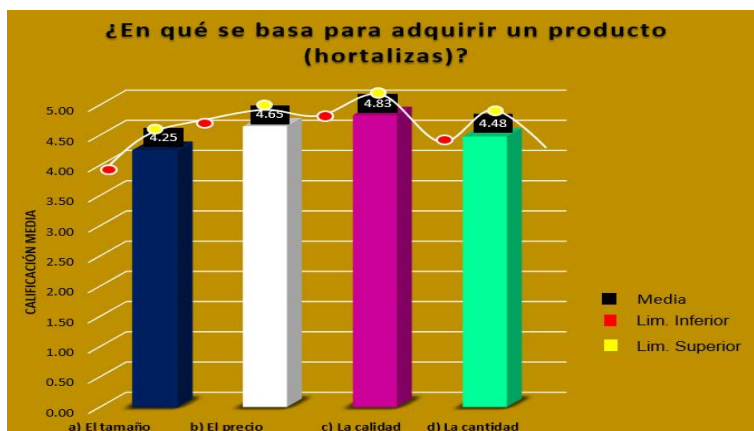
Gráfico 1. Como prefiere adquirir los productos



Fuente: Propia

En el apartado de tipos de requisitos del producto a considerar al momento de adquirir los productos se observa que son 4: el tamaño, el precio, la calidad y la cantidad de productos, la gráfica 2 presenta los resultados y la tabla 2 presenta la media de los datos; ordenandose de mayor a menor son: calidad, precio, cantidad y tamaño de las hortalizas.

Gráfico 2. Requisitos del producto consideradas por las MIPES al adquirir hortalizas



Fuente: Propia

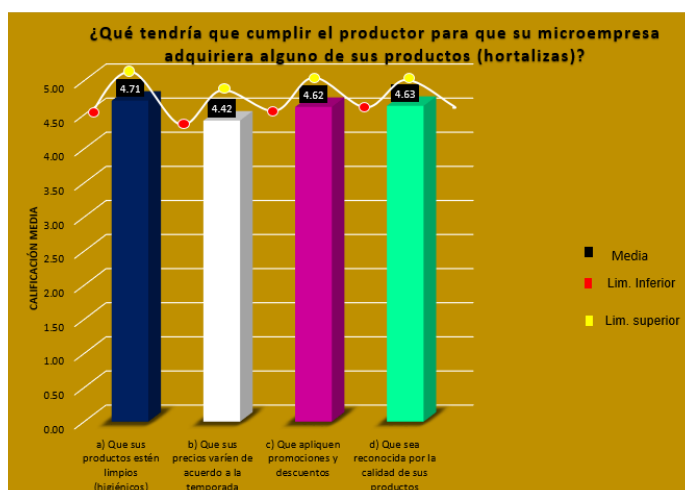
Tabla 4.- Media de los requisitos del producto

Requisitos del producto	Media de los datos
Tamaño	4.25/5
Precio	4.65/5
Calidad	4.83/5
Cantidad	4.48/5

Fuente: Propia

La tabla 3 presenta las medias sobre los requisitos de la nanoempresa que solicitan las MIPES al momento de adquirir sus hortalizas, este promedio es considerando un total de 5; los mismos datos se presentan en la gráfica 3.

Gráfico 3. Requisitos de la nanoempresa en cuanto al manejo del producto



Fuente: propia

Los requisitos de la nanoempresa que se requieren tengan para ser proveedor de las MIPes son, en orden de importancia; higiene, promoción y descuento, calidad de los productos y precio.

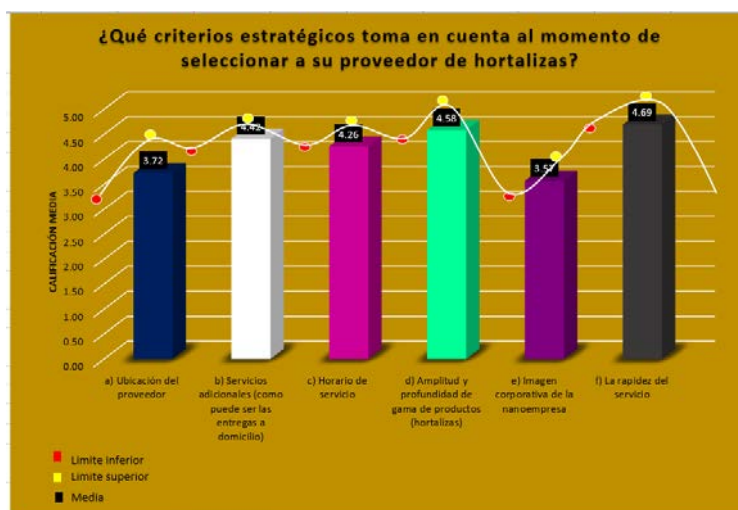
Tabla 5.- Media de los requisitos de la nanoempresa

Requisitos de la nanoempresa	Media de los datos
Higiene	4.71/5
Precio	4.42/5
Promociones y descuento	4.62/5
Calidad de los productos	4.63/5

Fuente: propia.

Los requisitos estratégicos solicitados por las MIPes se visualizan en la gráfica 4 y posteriormente en la tabla 3 se analizan las medias de las opiniones considerando un máximo de 5.

Gráfico 4. Selección de proveedor de hortalizas



Fuente: propia

Los requisitos estratégicos considerados por orden de importancia serían: imagen corporativa, horario de servicio, ubicación del proveedor, servicios adicionales, rapidez del servicio y gama de productos.

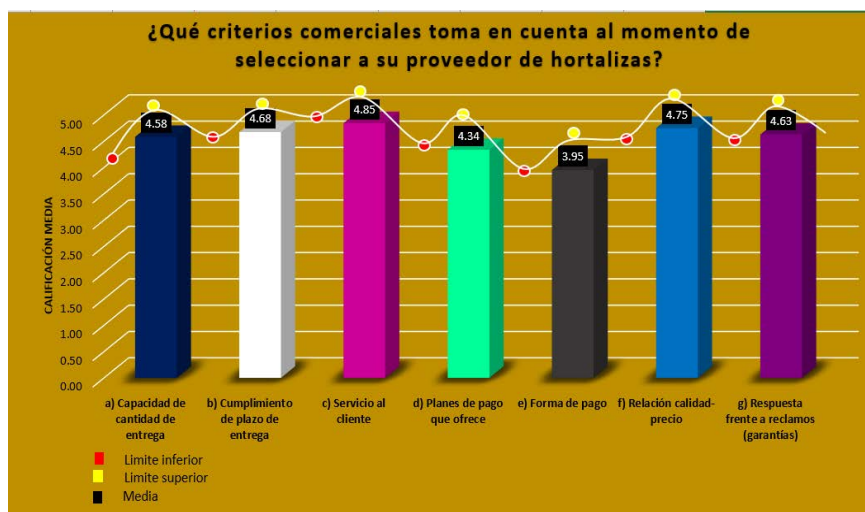
Tabla 6.- Criterios estratégicos

Requisitos estratégicos	Media de los datos
Ubicación del proveedor	4.42/5
Servicios adicionales	4.26/5
Horario de servicio	4. 58/5
gama de productos	3. 57/5
Imagen corporativa	4.69/5
Rapidez del servicio	3.71/5

Fuente: propia.

De igual modo se consideraron los requisitos comerciales que se encuentran en la gráfica 5 y posteriormente la media de las respuestas se encuentran en la tabla 6.

Gráfico 5. Selección de proveedor de hortalizas



Fuente: propia

Los requisitos comerciales en orden de importancia son: servicio al cliente, relación calidad-precio, plazo de entrega, reclamos (garantías), cantidad de entrega, planes de pago y formas de pago.

Tabla 7.- Requisitos comerciales

Requisitos estratégicos	Media de los datos
Cantidad de entrega	4. 58/5
Plazo de entrega	4.68/5
Servicio al cliente	4.85/5
Planes de pago	4.34/5
Formas de pago	3.95/5
Relación calidad-precio	4.75/5
Reclamos (garantías)	4.63/5

Fuente: propia

DISCUSIÓN

Los resultados presentados en el apartado anterior fueron cotejados con los resultados obtenidos en las entrevistas de profundidad (descritos como fortalezas de las nanoempresas) en la tabla 7 con base a nueve requisitos que son considerados los más importantes.

Tabla 8.- Alineación de requisitos solicitados por las MIPES y las fortalezas de las nanoempresas.

Requisitos	Requisitos solicitados por las MIPES	Fortalezas de las nanoempresas
Calidad	Alta calidad: tamaño, color, olor y sabor	El uso de tierra negra con composta y fertilizante generan productos con color, olor y frescura solicitada.
Higiene en las hortalizas	Alto grado de higiene	Limpieza y lavado de productos antes de venderlos
Servicio	Trato amable y rapidez en el servicio	Amabilidad del propietario
Variedad	Amplia gama (mínimo 3)	Siembran mayormente 2 hortalizas
Presentación de los productos	Productos empaquetados	Se emplean bolsas y papel Kraft en la venta de los productos
Volumen de las ventas	Menudeo y mayoreo	Menudeo en su mayoría
Precios	De acuerdo a la temporada	Los precios son de acuerdo al cliente
Marketing empleado	Promociones y descuentos	En ventas a mayoreo se realizan descuentos
Valor agregado	Servicios extras	Las ventas al por mayor ofrecen servicio a domicilio

Fuente: propia.

CONCLUSIONES

De acuerdo al apartado de discusiones se concluye que existen 9 requisitos mínimos que las MIPES solicitan y las nanoempresas tienen como fortalezas, siendo estas:

1. Productos de calidad. - Los productos que las nanoempresas tiene fresca, color, sabor y tamaño adecuados
2. Productos higiénicos. - Las microempresas requieren que los productos sean de calidad, estén bien lavados y tengan una buena presentación
3. Ventas al menudeo y mayoreo. - Las MIPES prefieren que el productor posea productos suficientes para ofrecer.
4. Precio. - Las MIPES requieren que las hortalizas tengan un precio de acuerdo a la temporada.
5. Servicio al cliente. - Se requiere de un trato amable y rapidez del servicio.
6. Promociones y descuentos. - Solamente en compras al por mayor.
7. Amplia gama de productos. - Se requiere que el productor ofrezca mínimo 3 productos, entre los más populares podrían ser: rábano, cilantro, lechuga, cebollina y chile habanero.
8. Servicios extras. - Como puede ser servicio a domicilio y encargos mediante WhatsApp o redes sociales

9. Productos empaquetados. - Cuando son compras al mayoreo las MIPES prefieren que las hortalizas sean entregadas en cajas.

La presente investigación contribuirá en el plano económico a generar ingresos a las nanoempresas dedicadas a la producción y venta de hortalizas; en el plano ético se podrá entregar productos más higiénicos para que sean consumidos de manera segura por los clientes; en el plano social promoverá la generación fuentes de ingresos para las familias quienes actúan como nanoempresas y en el plano tecnológico promoverán el uso de nuevos métodos para la comercialización de hortalizas.

REFERENCIAS

- Alvarado, (2021). *Factores condicionantes en la creación informal de nanoempresas: evidencia experimental en Monterrey, México*. Contaduría y administración, 66(3), 1-24, https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-10422021000300015. doi: <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2848>
- Andrade, C., Fucci, M., & Morales, M. (2010). *Estrategias de Marketing Promocional en Unidades de Servicio de Información de la Universidad del Zulia*. Obtenido de Revista de Ciencias Sociales, 16(1), 68-79.: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-95182010000100007&lng=es&tlng=es.
- Baixauli, C. (2017). *Aspectos a considerar para obtener hortalizas de máxima calidad*. Centro de experiencias Cajamar, 1a. ed. México. 3, p.9.
- Bautista F. y Palacio A. (2005). *Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán (implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales)*. México: Departamento de ecología, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Casseres, E. (1980). *Producción de hortalizas*. Costa Rica: 3a. edición.p.347.
- Castillo V. y Muñoz C. (2023). *Índices de la permanencia empresarial en México*. RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática, 2-17. Obtenido de <https://recai.uaemex.mx/article/view/19630/15737>
- Castro E. (2010). *Las estrategias competitivas y su importancia en la buena gestión de las empresas*. Revista De Ciencias Económicas, 28(1). doi: <https://doi.org/10.15517/rce.v28i1.7073>
- CEDRSSA. (2020). *Análisis de la producción y consumo de hortalizas*. recuperado en 2021, octubre 16 http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/88Ana%CC%81lisis_produccio%CC%81n_consumo_hortalizas.pdf

- De Peña, M. (2002). *Las Memorias del IV Simposio de Competitividad en Frutas y Hortalizas*. Colombia: Grafemas Ltda.
- Equipo Legal México. (13 de octubre de 2021). *Biz Latin Hub*. Obtenido de Entorno de las Compañías en México: <https://www.bizlatinhub.com/es/entorno-companias-mexico/#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20el%2099.7%25%20de,vista%20pr%C3%A1ctico%2C%20la%20misma%20persona>.
- Gonzáles A. (2015). *La nanoempresa, como forma de organización económica, su reconocimiento para México*. Revista Venezolana de Análisis de Coyuntura, XXI(1),175-186. Recuperado el 11 de octubre de 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36442240009>
- González, A. (2015). *La nanoempresa, como forma de organización económica, su reconocimiento para México*. Revista de análisis de coyuntura, 175-186p.
- Hernández M. y Sastre, A. (1999). *En Tratado de nutrición*. España: Díaz Santos.
- Horticom, N. (2004). *Manejo de Empaques de frutas y hortalizas*. Tucuman, Argentina: Artículo extraído de fao.org. Recuperado en agosto 2023, Obtenido de <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/75750-Manejo-de-Empaques-de-frutas-y-hortalizas.html>
- Infoalimentos (2020). Consejo Argentino sobre Seguridad de Alimentos y Nutrición. *Frutas y verduras, el secreto esta en los colores*. Recuperado en 2024, febrero 29 de <https://infoalimentos.org.ar/temas/nutricion-y-estilos-de-vida/249-frutas-y-verduras-el-secreto-esta-en-los-colores>
- Landon, C. (2005). *Los medios de vida crecen en los huertos "Diversificación de los ingresos rurales mediante las huertas familiares"*. Roma: Dirección de sistemas de apoyo a la agricultura "Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1a ed. P. 1-2.
- López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas "del campo al mercado"*. Argentina: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1a ed. p.115.
- Palomino, I. (27 de octubre de 2020). Universidad Cesar Vallejo. *Los nanoempresarios*: Obtenido de: <https://www.ucv.edu.pe/blog/los-nano-empresarios/>
- Rico, U. d. (s.f.). *Descripción del Programa de Horticultura*. Recuperado en 2024, febrero 15, obtenido de <http://agricultura.uprm.edu/horticultura/descripcion.html>
- Rural, S. d. (2016). *¿Sabes lo que es una hortaliza?* Recuperado en 2024, Febrero 15, obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/sabes-lo-que-es-una-hortaliza>

- SAGARPA. (2013). *¿Qué es la composta?*. Recuperado en 2024, febrero 15, obtenido de <https://www.gob.mx/ept/articulos/que-es-la-composta>
- Tello Prior, J. C. (noviembre de 2013). *El sector empresarial mexicano antes los retos de la competitividad, calidad y sustentabilidad*, Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/47529>
- Zoppolo, R. (2008). *Alimentos en la huerta "Guía para la producción y consumo saludable"*. Uruguay: Hemisferio Sur S.R.L. P. 20.

LIRIO ACUÁTICO (*Eichhornia crassipes*) COMO AGENTE BIOINDICADOR DE METALES PESADOS EN EL RÍO ACTOPAN

Sara Márquez Bueno¹

Jazmín Villegas Narváez²

Kenny Ortiz Ochoa³

Lázaro Gabriel Trujillo Juárez⁴

RESUMEN

El río Actopan es un río de bajo caudal, nace en las faldas del Cofre de Perote y desemboca en Barra de Chachalacas, Veracruz. Este río es de gran importancia debido a que se extrae agua para el riego de terrenos, principalmente del ramo agrícola y azucarero, así mismo, los poblados e ingenios azucareros descargan sus desechos a este sistema acuífero, debido a que no se cuenta con plantas de tratamiento de aguas en la zona. Esto genera una problemática ambiental relacionada a la introducción de metales pesados, que llegan a ser tóxicos incluso a concentraciones bajas y suelen ser absorbidos fácilmente a través de membranas biológicas las cuales pueden acumularlos a través de cadenas tróficas, dificultando su degradación y/o eliminación, por lo que se propone evaluar la capacidad del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como agente bioindicador de metales pesados en el río Actopan, Veracruz, para determinar las concentraciones de Pb y Cd en agua superficial y tejido estructural (raíz, tallo y hoja) derivados principalmente de actividades agrícolas, urbanas e industriales.

Palabras clave: bioindicador, lirio acuático, agua, metales pesados.

ABSTRACT

The Actopan River is a low-flow river that originates on the slopes of Cofre de Perote and flows into Barra de Chachalacas, Veracruz. This river is of great importance because water is extracted from it for irrigation, mainly in the agricultural and sugarcane sectors. Likewise, towns and sugar mills discharge their waste into this aquifer system due to the lack of water treatment plants in the area. This generates an environmental problem related to the introduction of heavy metals, which can be toxic even at low concentrations and are usually easily absorbed through biological membranes, which can accumulate through food chains, hindering their degradation and/or elimination. Therefore, it is proposed to evaluate the capacity of the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a bioindicator of

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. sara.mb@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jazmin.vn@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. kenny.oo@veracruz.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. lazaro.tj@ugalvan.tecnm.mx

heavy metals in the Actopan River, Veracruz, to determine the concentrations of Pb and Cd in surface water and tissue. structural (root, stem and leaf) derived mainly from agricultural, urban and industrial activities.

Keywords: Bioindicator, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), water, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados en cuerpos de agua dulce constituye un problema para ecosistemas acuáticos, especialmente en cuencas con actividades agrícolas, industriales y urbanas. Los metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), presentes en agua, no se degradan ni se transforman en compuestos menos tóxicos por procesos biológicos naturales, tienden a acumularse en los sedimentos de cuerpos de agua, desde donde pueden ser liberados nuevamente al ambiente por cambios en el pH, la temperatura, la salinidad o la actividad biológica, generando persistencia ambiental, toxicidad a bajas concentraciones por su carácter no biodegradable y la capacidad de bioacumularse en cadenas tróficas, con efectos adversos en la biota y la salud humana.

Para la caracterización de la contaminación por metales pesados, suelen emplearse métodos convencionales de monitoreo, pero pueden ser costosos y puntuales en el tiempo; en este sentido, los bioindicadores son organismos vivos que detectan el estado ambiental de un ecosistema al responder a cambios en su entorno y pueden utilizarse para evaluar la presencia de contaminantes y la calidad del agua (Zhang *et al.*, 2019). *Eichhornia crassipes* es una hidrófita libre (flotante ampliamente distribuida en sistemas dulceacuícolas tropicales y subtropicales, posee un rápido crecimiento, gran área foliar y elevada capacidad de acumulación de metales pesados en raíces y tejidos, esta característica lo convierte en un bioindicador viable para la evaluación de la calidad del agua (Rodríguez, *et. al.*, 2021). Aunque es considerada una plaga debido a su rápida reproducción y capacidad de absorber grandes cantidades de agua, ha mostrado un notable potencial para la fitorremediación (Ramírez, 2024).

El río Actopan, ubicado en el estado de Veracruz, desemboca en la zona de Barra de Chachalacas y se cataloga como una cuenca intermedia a grande. Su creciente contaminación debido a descargas industriales, urbanas y agrícolas ha suscitado preocupación por la acumulación de metales pesados, tales como cadmio y plomo los cuales representan un problema ambiental y sanitario de creciente interés debido a su carácter no biodegradable, toxicidad y su biodisponibilidad. Estudios locales han documentado alteraciones en parámetros fisicoquímicos en la desembocadura, pero la información sobre metales pesados a lo largo de su curso y sobre la utilidad de macrófitas como indicadores es limitada.

En Úrsulo Galván se desarrollan actividades del giro agropecuario y en sus zonas aledañas cuenta con dos ingenios azucareros, esto hace que el agua del río pueda presentar toxicidad por metales pesados. La selección de *Eichhornia crassipes* como agente bioindicador en esta cuenca responde a su presencia observada en distintos puntos del río Actopan. Es por ello que se propone evaluar la capacidad del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como agente bioindicador de metales pesados en el río Actopan, Veracruz. Se establecerán 3 puntos de muestreo y se consideran dos temporadas (secas y lluvias), se tomarán tres muestras de lirio acuático y de agua, por cada punto y muestreo para determinar las concentraciones de Pb y Cd en agua superficial y tejido estructural (raíz, tallo y hoja) de *Eichhornia crassipes* mediante espectrofotometría de absorción atómica, según lo estipulado en la NOM-117-SSA1-1994.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

La contaminación por metales pesados es uno de los principales problemas ambientales, sociales y de salud pública que presentan los cuerpos de agua dulce debido a la bioacumulación de estos. *Eichhornia crassipes*, es una especie reconocida por su capacidad de acumular contaminantes, especialmente metales pesados. A continuación, se describe los materiales y métodos empleados:

Diseño del estudio: Investigación experimental, basada en la recolección y análisis de muestras de agua y tejidos de lirio acuático (tallo, hoja y raíz) en diferentes puntos del río Actopan.

Área de estudio: Cuenca del río Actopan, el cual se ubica en la porción centro- norte del estado de Veracruz, entre los paralelos 19°20'54" y 19°48'39" de latitud norte y los meridianos 96°18'32" y 97°08'03" de longitud oeste, comprendiendo una superficie de 2,507 km² (CONAGUA, 2024).

Diseño del muestreo: Se seleccionaron tres puntos (zonas representativas) de muestreo a lo largo del río Actopan. El traslado de las muestras desde los puntos de muestreo hasta el área de laboratorios del TecNM/IT Úrsulo Galván, se realizó en tiempo y condiciones adecuadas para que las muestras colectadas sean representativas.

- Zona alta: "Descabezadero" (entrada de aguas de captación).
- Zona media: Úrsulo Galván (área de mayor uso urbano/agropecuario).
- Zona baja: Barra de Chachalacas (área de desembocadura).

En cada zona se tomaron cinco muestras de *Eichhornia crassipes* y de agua por cada zona.

Frecuencia del muestreo: Se muestrearon en temporada de seca y temporada de lluvia para captar variabilidad estacional.

Recolección de muestras de agua: Se colectaron muestras de agua en botellas de polietileno de boca angosta con tapa, lavados previamente con ácido nítrico diluido, enjuagadas con agua desionizada.

Para la conservación de la misma, se acidificó con HNO_3 a un pH menor o igual a 2, se filtraron a $0.22 \mu\text{m}$ en el laboratorio y se refrigeraron (4°C) hasta su análisis.

Muestreo de las plantas (*E. crassipes*): Se seleccionaron plantas representativas por cada zona, se colectaron cinco muestras por cada punto de muestreo. Las plantas recolectadas de cada sitio se lavaron con agua de grifo para eliminar los lodos adheridos a la planta y posteriormente se enjuagó con agua destilada. El material vegetal se separó en partes: raíces, tallo y hojas. Posteriormente, se pesó la biomasa fresca, luego se deshidrató a temperatura ambiente para proceder con el secado en estufa a 60°C hasta peso constante para determinar peso seco. Después, se molieron las muestras secas en molino, se homogenizaron en un tamiz malla 10 y se obtuvo un polvo fino ($200 \mu\text{m}$) para su posterior digestión (EPA-3051, 1994) y análisis.

Preparación y digestión de muestras: Para los tejidos vegetales se tomó de 0.5 a 1 gramos de muestra seca, se añadió HNO_3 o HCl concentrado (5mL) y H_2O_2 (1mL), para someter a digestión (EPA-3051, 1994). Posteriormente, las soluciones digeridas fueron filtradas con papel libre de cenizas, recolectadas en matraces volumétricos de 50 mL y aforadas con agua desionizada. Las soluciones resultantes se almacenaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis. Para muestras de agua: acidificar con HNO_3 a un pH <2 , se filtraron a $0.22 \mu\text{m}$.

Análisis instrumental: Para determinar las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb) en agua y tejidos del lirio mediante espectrometría de absorción atómica, se emplea la norma NMX-AA-051-SCFI-2001.

Análisis estadístico: Se aplicarán pruebas de correlación para evaluar la relación entre las concentraciones de metales pesados en el lirio y agua. Se realizará un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las concentraciones de metales entre los diferentes puntos de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El muestreo se llevó a cabo en la época de secas (marzo-mayo) en la zonas alta, media y baja, respectivamente (Figura 1). Las muestras de *Eichhornia crassipes* fueron colectadas con similitudes similares en tamaño (Figura 2), se colectaron cinco muestras representativas por cada zona de muestreo para material vegetativo y para agua. Cada muestra de lirio tuvo una masa húmeda aproximada de 500 gramos y estuvo conformada por 2 a 4 individuos. Una vez recolectadas las muestras fueron transportadas al laboratorio de agua-suelo-planta y conservadas a 4°C . A continuación, se presenta la Tabla 1 donde se identifican las muestras por zonas.

Tabla 1. Identificación de las muestras de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) colectadas en el río Actopan para análisis de metales.

Sitio	Clave de la muestra	Localidad	Ubicación geográfica
Zona Alta	ZAM1	Descabezadero	19°31'47"N 96°41'25"W
	ZAM2		
	ZAM3		
	ZAM4		
	ZAM5		
Zona Media	ZAM1	Úrsulo Galván	19°26'54"N 96°25'54"W
	ZMM2		
	ZMM3		
	ZMM4		
	ZMM5		
Zona Baja	ZBM1	Barra de Chachalacas	19°24'35"N 96°20'10"W
	ZBM2		
	ZBM3		
	ZBM4		
	ZBM5		

Fuente: Propia

Figura 1. Ubicación de las zonas de colecta de lirios acuáticos (*Eichhornia crassipes*) en río Actopan para análisis de metales (Google Earth, 2025).

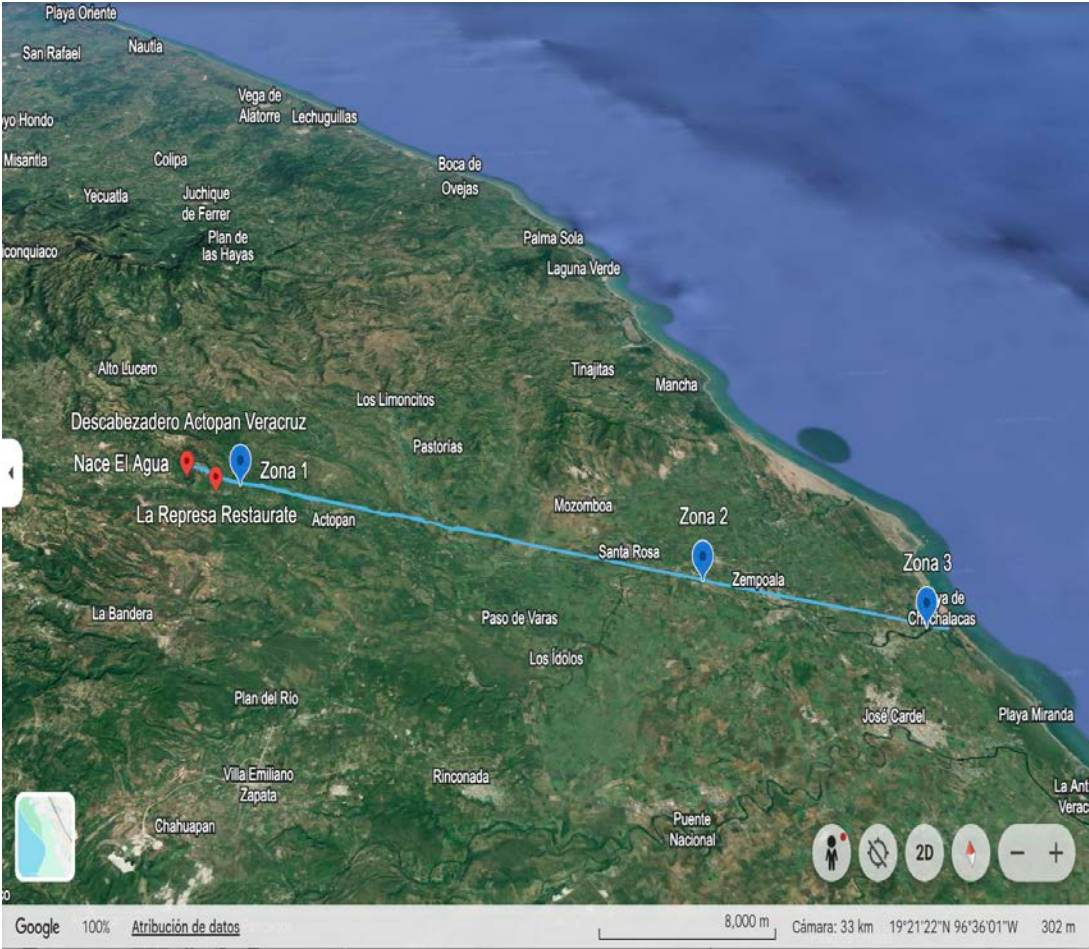


Figura 2. Zonas de colecta de lirios acuáticos (*Eichhornia crassipes*) en río Actopan para análisis de metales.

Zona 1.
Descabezadero

Zona 2.
Úrsulo Galvan

Zona 3.
Barra de Chachalacas



Fuente: Propia.

Para la determinación del porcentaje de humedad y de biomasa de los lirios acuáticos se realizó mediante método gravimétrico indirecto, utilizando la técnica de secado en estufa. Las muestras de lirio recolectadas en los tres sitios del río Actopan fueron separadas en raíz (R) y tallo (T) y hoja (H) (Figura 3). Las mediciones de masa de *Eichhornia crassipes* se efectuaron en una balanza analítica calibrada (marca Ohaus, modelo AV-1500), para el secado de las muestras se empleó horno de secado marca Ecoshel, modelo 9053A (Figura 4).

Figura 3. Segmentación del lirio en raíz (R), tallo (T) y hoja (H).



Fuente: Propia

Figura 4. Secado del material vegetal por secciones (R, T y H).



Fuente: Propia

Este procedimiento permitió determinar el porcentaje de humedad y la proporción relativa de biomasa en cada una de las partes de la planta. Se obtuvo un porcentaje de humedad promedio de 93 % para lirio. A continuación, se muestra la proporción de biomasa y humedad en las muestras (Tabla 2).

Tabla 2. Porción de biomasa y humedad de las muestras colectadas en las tres zonas del río Actopan (Fuente: Propia).

Sitio	Clave de la muestra	% Biomasa						%Humedad			
		Lirio húmedo			Lirio seco						
		%R	%T	%H	%R	%T	%H	%H _R	%H _T	%H _H	%H _{lirio}
Zona Alta	ZAM1	31.4	29.5	17.5	45.6	32.2	22.2	93.2	90.1	91.7	92.4
	ZAM2	33.5	34.9	33.8	42.0	34.0	24.0	90.2	91.3	90.7	91.1
	ZAM3	37.9	33.6	31.4	47.7	31.2	21.1	91.4	91.1	92.2	91.9
	ZAM4	38.5	35.2	31.8	49.1	30.4	25.4	89.7	93.1	93.8	93.9
	ZAM5	29.5	37.2	36.9	43.7	30.1	26.2	92.3	92.4	91.1	92.2
Zona Media	ZAM1	40.2	32.1	28.8	35.1	37.5	27.5	93.6	93.8	92.9	93.5
	ZMM2	34.1	35.7	30.2	38.9	32.1	27.8	95.1	94.3	93.4	94.0
	ZMM3	35.5	38.6	26.1	37.7	36.2	26.1	92.7	92.6	93.8	92.9
	ZMM4	31.2	37.4	31.4	34.1	32.5	27.4	92.9	92.1	94.3	93.8
	ZMM5	46.0	30	24	38.2	35.9	25.9	92.9	93.5	92.6	92.8
Zona Baja	ZBM1	30.5	36.2	33.3	34.4	37.8	27.8	94.9	93.2	92.1	92.9
	ZBM2	37.8	38.4	27.8	40.7	34.7	24.6	93.7	94.1	93.1	93.1
	ZBM3	33.8	34.9	31.3	40.1	34.9	25.0	92.9	92.9	93.7	92.8
	ZBM4	42.7	32.7	25.2	49.3	30.4	20.3	93.5	93.7	92.5	92.5
	ZBM5	38.5	35.4	27.5	42.1	36.2	23.7	90.2	94.4	94.8	94.4
Promedio		36.1	34.8	29.1	41.2	33.7	25.0	92.6	92.8	92.8	92.9

(donde: %R= Porcentaje de raíz; %T=Porcentaje hoja; %H=Porcentaje hoja; %H_R= porcentaje de humedad en raíz; %H_T = porcentaje de humedad en tallo; %H_H = porcentaje de humedad en hoja; %H_{lirio} = porcentaje de humedad en el lirio completo).

Para la digestión y determinación de metales, las muestras se transfirieron a crisoles para su digestión, se añadió 5 mL HNO₃ o HCl concentrado y 1 mL de H₂O, para someter a digestión (EPA-3051, 1994), las soluciones digeridas fueron filtradas con papel Whatman 42, recolectadas en matraces volumétricos de 50 mL y aforadas con agua desionizada. Las soluciones resultantes se almacenaron en refrigeración a 4 °C hasta su análisis.

Para las muestras de agua se determinó el pH y conductividad eléctrica (NMX-AA-093-SCFI-200) (Tabla 3).

Tabla 3. pH y conductividad eléctrica en muestras de agua colectada en las tres zonas del río Actopan (Fuente: Propia).

Sitio	Clave de la muestra	pH	Conductividad eléctrica (ms)
Zona Alta	ZAM1	6.7	0.28
	ZAM2	6.8	0.27
	ZAM3	6.7	0.27
	ZAM4	6.9	0.28
	ZAM5	6.9	0.28
Zona Media	ZAM1	7.2	0.26
	ZMM2	7.1	0.26
	ZMM3	6.7	0.25
	ZMM4	6.9	0.25
	ZMM5	7.0	0.26
Zona Baja	ZBM1	7.02	0.26
	ZBM2	6.9	0.25
	ZBM3	7	0.27
	ZBM4	6.9	0.25
	ZBM5	6.8	0.25
Promedio		6.9	0.3

Varios estudios han mostrado que *E. crassipes* puede bioacumular concentraciones significativas de metales pesados en raíces y tejidos, actuando como indicador efectivo de la carga ambiental. Eid *et al.*, (2021) documentaron la predicción de captura de nueve metales en canales de riego y encontraron patrones de acumulación que dependen de la concentración ambiental y condiciones hidrológicas; sus resultados subrayan la utilidad del lirio en biomonitoreo regional.

Zhou *et al.*, (2020) demostraron altas eficiencias de remoción de Pb y Mn en aguas kársticas empleando *E. crassipes*, lo que corrobora su potencial dual como bioindicador y agente para reducción de carga metálica, aunque el destino final de la biomasa contaminada representa un desafío de gestión ambiental. En el río Actopan, la presencia de actividades agrícolas y descargas urbanas sugiere que se podrán observarse datos similares a los reportados en otras cuencas costeras de la región. Finalmente, la revisión de Churko *et al.*, (2023) y Hayyat *et al.*, (2023) muestra que la eficiencia de captura varía con tiempo de exposición, temperatura y características del agua dependiendo de la estación de colecta.

CONCLUSIÓN

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) presenta características funcionales (alta biomasa, amplia superficie de raíces, rápido crecimiento) que lo hacen una herramienta prometedora para el biomonitoreo de metales pesados en sistemas fluviales tropicales como el río Actopan. Se espera que las raíces concentren mayoritariamente metales como Pb, Cd y Zn, proporcionando una señal integrada de la contaminación disponible en el sistema acuático, el alto contenido de humedad en los lirios (92.9 %) limita su eficiencia en procesos de termovalorización, debido a que requiere un alto consumo energético para su secado previo. El cálculo sistemático de factores de bioconcentración (BCF) y de translocación (TF) permitirá diferenciar entre retención radicular y movilidad interna, facilitando la interpretación sobre biodisponibilidad y riesgos.

La estrategia propuesta (muestreo en tres zonas representativas en dos temporadas, análisis de agua y tejido vegetal) ofrece un marco replicable y de bajo costo relativo para futuras investigaciones académicas y autoridades municipales locales.

Finalmente, la utilización de *E. crassipes* como bioindicador debe complementarse con precauciones de gestión: su condición de especie invasora exige protocolos claros de recolección, almacenamiento y disposición final de biomasa contaminada para prevenir dispersión y riesgos secundarios, así mismo, es importante emplear técnicas analíticas sensibles (ICP-MS cuando sea posible) y mantener programas de monitoreo temporalmente extendidos para captar variabilidad estacional y eventos extremos.

REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua (2024). Disponibilidad de agua en el acuífero Actopan-Antigua, Estado de Veracruz, clave 3005. SIGAGIS CONAGUA.
https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/veracruz/DR_3005.pd
- Churko, E. E., et al. (2023). Phytoremediation capacity of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Water (MDPI)*, 15(14), 2540. <https://doi.org/10.3390/w15142540>
- Eid, E. M., et al. (2021). Uptake prediction of nine heavy metals by *Eichhornia crassipes* grown in irrigation canals: A biomonitoring approach. *Science of The Total Environment*, 782, 146887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146887>
- Google. (2025). Google Earth (Versión 2025) [Software de exploración geográfica]. Google LLC. <https://earth.google.com>

- Hayyat, M. U., et al. (2023). Evaluating the phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* for chromium and lithium removal. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9958863/>
- Ramírez Cancino, I. P. A., Torres Franco, D. M., Alfaro Reyes, A. J., Reyes Sánchez, F. P., Sandoval Vergara, M. E., & González Guerra, G. M. (2024). Fitorremediación de metales pesados de *Eichhornia crassipes*. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 28, 1–8. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4386>
- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2021). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 44201. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44201>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de aguas – Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas – Método de prueba. Dirección General de Normas. <https://www.dof.gob.mx>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de aguas – Determinación de pH – Método de prueba. Dirección General de Normas. <https://www.dof.gob.mx>
- Secretaría de Economía. (2000). NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua — Determinación de la conductividad electrolítica — Método de prueba. Dirección General de Normas. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166800/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>
- Secretaría de Salud. (1995). NORMA Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. *Diario Oficial de la Federación*. <https://www.dof.gob.mx>
- United States Environmental Protection Agency. (1994). Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. U.S. EPA. <https://www.epa.gov/esam/epa-method-3051a-microwave-assisted-acid-digestion-sediments-sludges-soils-and-oils>
- Zhang, Y., Gao, X., & Zhang, F. (2019). Phytoremediation potential of *Eichhornia crassipes* for heavy metals in water systems. *Journal of Environmental Management*, 230, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.052>
- Zhou, J. M., et al. (2020). Efficiency of Pb, Zn, Cd, and Mn removal from karst water using *Eichhornia crassipes*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(19), 7026. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7432897/>

DIVULGACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE HUERTOS AGROECOLÓGICOS MODELO EN ESCUELAS DE EDUCACIÓN BÁSICA

Guadalupe Pérez Cervantes¹

María de los Ángeles Acosta Soberano²

Marco Antonio Díaz Ramos³

Kennia Cosme Feliciano⁴

María Fernanda Aburto Pérez⁵

RESUMEN

Actualmente, el mundo enfrenta desafíos ambientales, alimentarios y educativos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles, una de las principales estrategias implementadas son los huertos agroecológicos como una opción que busca fomentar la seguridad alimentaria y el aprendizaje, estos espacios funcionan como aulas didácticas en donde los estudiantes desarrollan conocimientos asociados a la agroecología, biodiversidad y cuidado del medio ambiente.

Previamente, se realizó un proyecto cuyo objetivo fue analizar la percepción de los estudiantes del Instituto Tecnológico Campus Úrsulo Galván respecto a aspectos económicos asociados a la implementación de un huerto agroecológico casero, se obtuvieron resultados positivos al demostrar que los alumnos desarrollaron una diversidad de conocimientos asociados al objetivo del proyecto, además, se dio un valioso intercambio de saberes entre todos los participantes involucrados.

Esta vez, se propone divulgar en instituciones educativas de nivel básico la información obtenida durante la primera intervención como una forma de transferencia de conocimientos, para ello, inicialmente fue necesario realizar un diagnóstico con enfoque participativo para conocer cuál era la situación respecto a los huertos agroecológicos en alumnos de los diferentes niveles educativos, con esto, se logró determinar el nivel de conocimientos de los jóvenes y niños participantes. Asimismo, facilitó la identificación de intereses específicos y puntos de partida para la intervención.

Finalmente, a través del análisis de los resultados se obtuvo información sumamente valiosa para la promoción de sistemas de alimentación agroecológicos y sustentables.

Palabras claves: Huerto agroecológico, diagnóstico participativo, educación ambiental, innovación

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Guadalupe.pc@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. angeles.as@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. marco.dr@ugalvan.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. L20884562@ugalvan.tecnm.mx

⁵ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. aburto2005@hotmail.com

ABSTRACT

Currently, the world faces environmental, food, and educational challenges that require innovative and sustainable solutions. One of the main strategies implemented is agroecological gardens, as an option that seeks to promote food security and learning. These spaces function as didactic classrooms where students develop knowledge related to agroecology, biodiversity, and environmental care.

Previously, a project was carried out with the objective of analyzing the perception of students from the Technological Institute, Úrsulo Galván Campus, regarding economic aspects associated with the implementation of a home agroecological garden. Positive results were obtained by demonstrating that students developed a diversity of knowledge aligned with the project's objectives. In addition, a valuable exchange of knowledge took place among all participants involved.

This time, it is proposed to disseminate in basic-level educational institutions the information obtained during the first intervention as a way of transferring knowledge. To this end, it was first necessary to conduct a participatory diagnostic to learn about the situation regarding agroecological gardens among students of different educational levels. This made it possible to determine the level of knowledge of the participating children and young people. Likewise, it facilitated the identification of specific interests and starting points for the intervention.

Finally, through the analysis of the results, highly valuable information was obtained for the promotion of agroecological and sustainable food systems.

Keywords: Agroecological garden, participatory diagnostic, environmental education, innovation

INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo enfrenta desafíos ambientales, alimentarios y educativos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles, una de las principales estrategias implementadas son los huertos agroecológicos como una opción que busca fomentar la seguridad alimentaria y el aprendizaje, estos espacios tienen el objetivo de funcionar como un agroecosistema diverso, formado por especies domésticas y silvestres con un manejo que considera actividades como la producción de alimentos sanos (Agroecología y patrimonio biocultural, 2024).

En un contexto educacional los huertos agroecológicos funcionan como una praxis escolar que se enfoca en generar un sistema alimentario, buscando la reapropiación de la comunidad escolar del sistema productivo de transformación y consumo de alimentos a partir del manejo de espacios naturales y dinámicas dentro de los centros educativos (Llerena y Espinet, 2015), así mismo, replantea las interacciones entre la escuela, la comunidad y el territorio (Sevilla Guzmán y Soler, 2010).

En el país, los huertos escolares han sido una herramienta educativa que tiene al menos un siglo de antigüedad, en las escuelas rurales se realizaba la asignación de una parcela escolar con el objetivo de llevar a cabo un “aprendizaje en acción” (Loyo, 2006), recientemente se ha reavivado el interés por la inclusión de estos espacios como una respuesta a los retos presentes en el ámbito educativo y alimentario en México (Morales, *et al.*, 2021).

Por otro lado, se ha aumentado el uso de los huertos escolares debido a que resulta recurso valioso para la labor pedagógica ya que lleva a replantearse los métodos educativos tradicionales, configurándolo como una estrategia docente innovadora que a largo plazo lleva a la mejora de proyectos educativos (Torres y Del Valle, 2016).

Es en este escenario es que previamente se realizó un proyecto cuyo objetivo fue analizar la percepción de los estudiantes del Instituto Tecnológico Campus Úrsulo Galván respecto a aspectos económicos asociados a la implementación de un huerto agroecológico casero, en el cual se obtuvieron resultados positivos al probar que los alumnos desarrollaron conocimientos asociados al objetivo del proyecto, a su vez, el huerto agroecológico funciona como un escenario para un intercambio de saberes entre todos los participantes.

Ahora se propone divulgar la información obtenida en instituciones de educación básica como una forma de transferencia de conocimientos para ello, inicialmente fue necesario realizar un diagnóstico con enfoque participativo para conocer cuál era la situación general respecto a los huertos agroecológicos en alumnos de los diferentes niveles educativos, con esto, se logró determinar el nivel de conocimientos de los jóvenes y niños participantes. Asimismo, facilitó la identificación de intereses específicos y puntos de partida para la intervención.

Finalmente, a través del análisis de los resultados se obtuvo información sumamente valiosa para la promoción de sistemas de alimentación agroecológicos y sustentables en otros contextos educativos.

CONTENIDO, MATERIALES Y MÉTODO.

Para lograr el objetivo planteado fue necesario vincularse con tres instituciones educativas del municipio de Úrsulo Galván, en este sentido se seleccionó una primaria, una secundaria y una preparatoria, de los cuales se obtuvo un porcentaje de muestra de participación, posteriormente se realizó un diagnóstico participativo para poder conocer el nivel de conocimientos sobre el tema que los alumnos participantes tenían, esto fue a través de la aplicación de una encuesta estructurada para lograr obtener respuestas concisas.

La aplicación de un instrumento de este tipo asegura obtener una gran cantidad de opiniones a partir de un número mayor de personas (Ávila, *et al.*, 2020), pero debido a los perfiles de los estudiantes se

optó por respuestas limitadas para evitar una generación excesiva de datos que provocaran un sesgo en los resultados.

El formulario aplicado constaba de 16 preguntas, se optó por la creación de un cuestionario electrónico que se compartió a través de un enlace web a los alumnos participantes.

Los datos fueron procesados a través de Excel, así mismo se realizaron los gráficos correspondientes a los resultados con el objetivo de identificar patrones, tendencias y la relación existente entre las diferentes respuestas.

RESULTADOS

La edad de los participantes oscilo entre los 6 y los 18 años, se registró una participación mayoritaria de alumnos de 14 años, dicha edad correspondería al nivel académico de secundaria (figura 1), a pesar de ello, la participación de una mayor cantidad de alumnos de diversas edades se destaca en preparatoria (figura 2).

Figura 1. Edad de los alumnos participantes en el diagnóstico

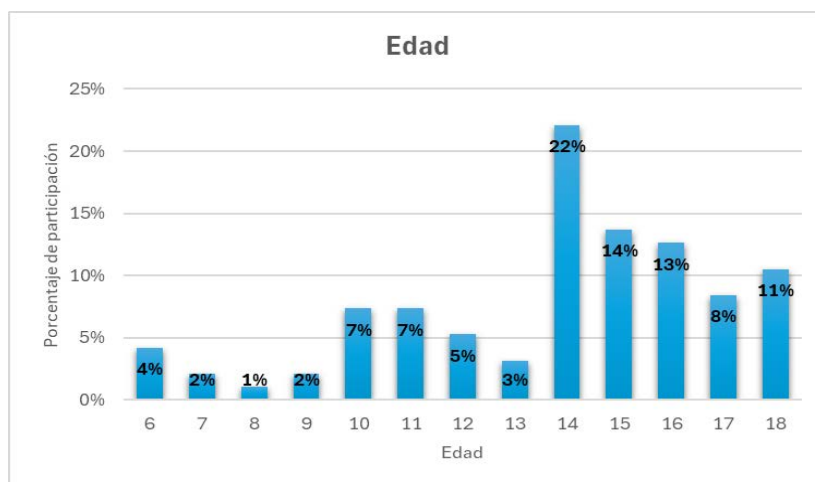
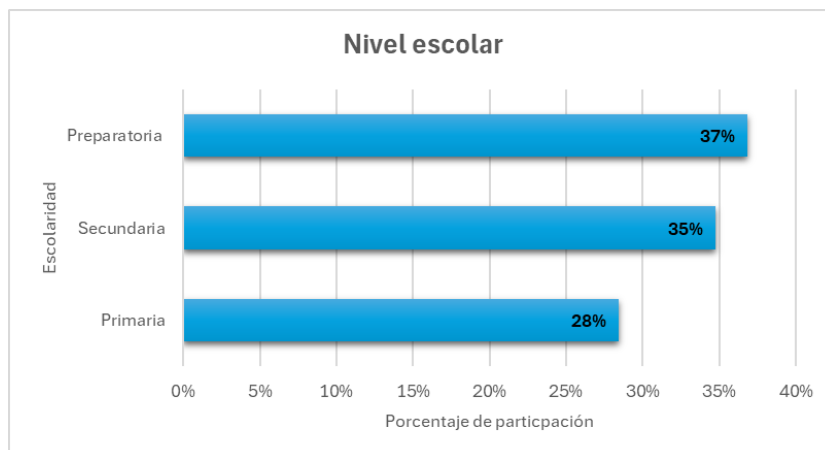
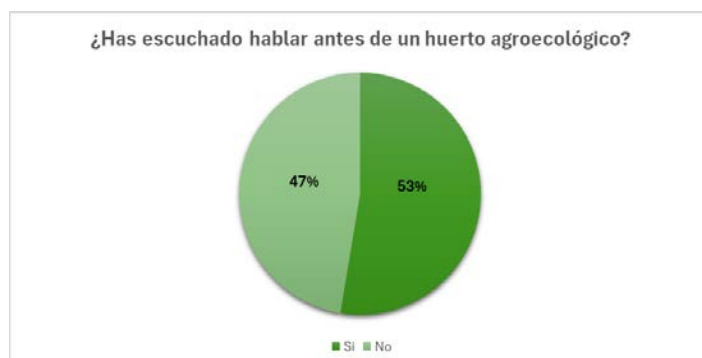


Figura 2. Escolaridad de los participantes.



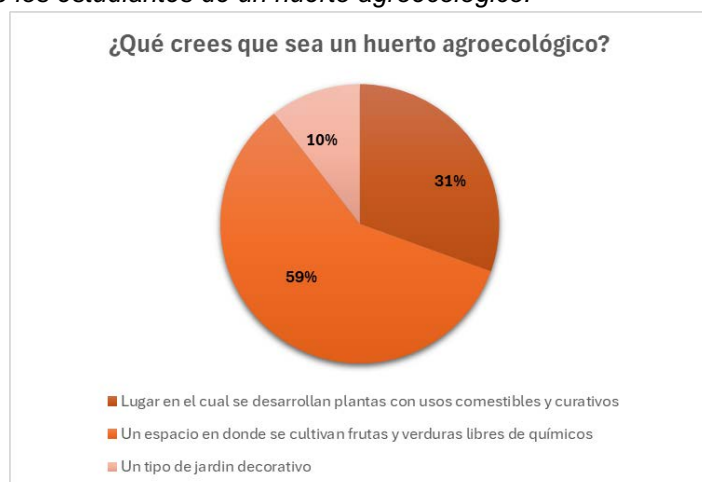
Se le pregunto a los alumnos participantes si habían escuchado hablar antes de un huerto agroecológico, a lo cual un 53% respondió de forma negativa (figura 3).

Figura 3. Conocimiento de los estudiantes sobre los huertos agroecológicos



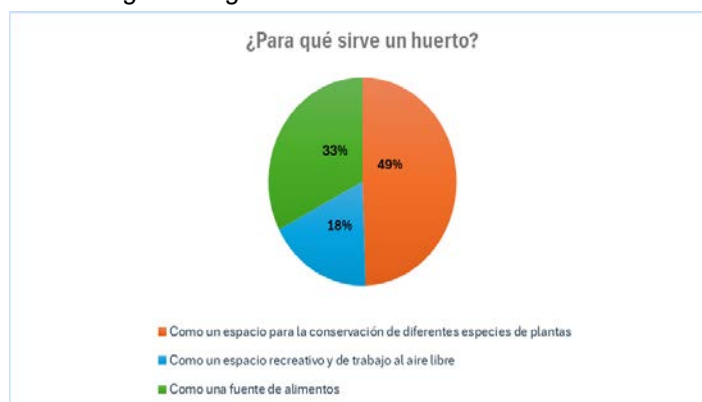
Asimismo, al preguntarles su percepción de lo que era un huerto agroecológico, un 59% selecciono la segunda opción, en tanto que un 10% lo percibía como un jardín decorativo (figura 4).

Figura 4. Percepción de los estudiantes de un huerto agroecológico.



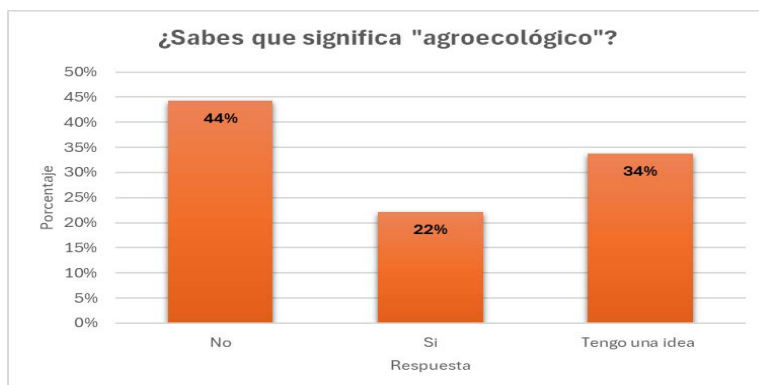
Respecto a la utilidad de los huertos el 49% consideró que era un espacio para la conservación de diferentes especies de plantas, en tanto que el 33% lo percibe como un espacio recreativo y de trabajo al aire libre (figura 5).

Figura 5. Utilidad de los huertos agroecológicos



Sobre el significado del término agroecológico, el 44% negó conocer el significado de la palabra (figura 6).

Figura 6. Conocimiento de la palabra agroecológico



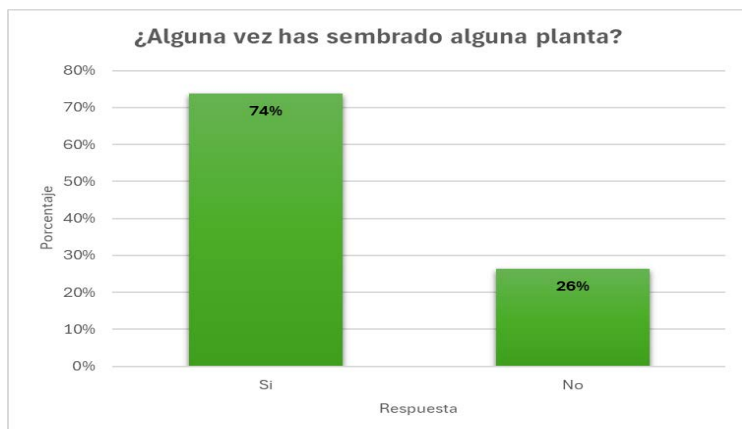
Al preguntar sobre el tipo de plantas que consideraban podrían crecer en un huerto las opciones con una mayor cantidad de selecciones fueron hortalizas y plantas comestibles (figura 7).

Figura 7. Opiniones sobre la diversidad de cultivos en un huerto agroecológico



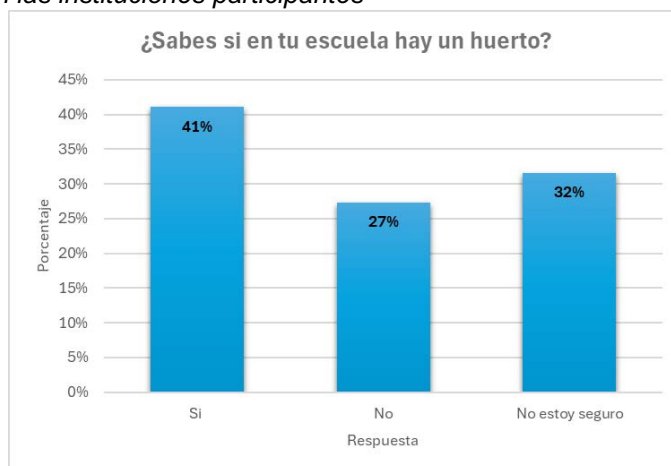
Por otro lado, se le pregunto a los alumnos participantes si alguna vez habían realizado la siembra de una planta, a lo cual el 74% respondió de manera afirmativa (figura 7).

Figura 8. Siembra de una planta con anterioridad



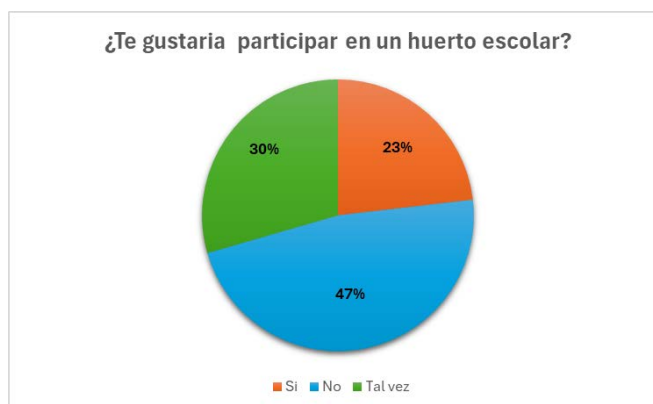
Al preguntar si tenían conocimiento de algún huerto en su escuela, el 41% afirmó de la presencia de uno en su institución, en tanto que un 32% reportó no tener conocimiento al respecto (figura 9).

Figura 9. Presencia de huertos en las instituciones participantes



Sobre su participación en un posible huerto escolar, el 47% dijo que le gustaría participar en las actividades, sin embargo, un 23% afirmó no estar seguro de su participación (figura 10).

Figura 10. Participación en los huertos agroecológicos escolares



En cuanto a las actividades que les gustaría realizar (figura 11), el 36% mostró interés en el cuidado de los cultivos y el porcentaje restante expresó tener un mayor interés en actividades como siembra de semillas, cosecha de cultivos y manejo de plagas.

Figura 11. Actividades para realizar en el huerto agroecológico



A los participantes también se les pregunto si en sus hogares alguna vez habían producido sus propios alimentos, a lo cual el 55% respondió de forma negativa (figura 12).

Figura 12. Actividades para realizar en el huerto agroecológico



Al preguntarles sobre si conocían la importancia de los huertos agroecológicos el 50% dijo no conocerla y tan solo un 27% respondió de forma positiva (figura 13). Asimismo, se les pregunto si consideraban que un huerto podría asegurar su alimentación, el 45% respondió que tal vez (figura 14).

Figura 13. Importancia del huerto agroecológico

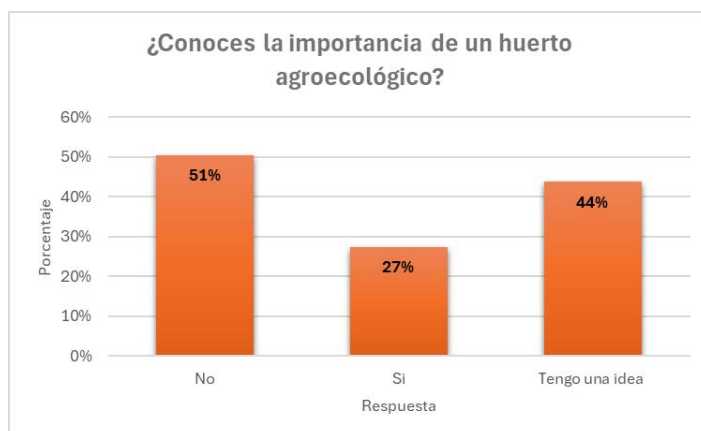
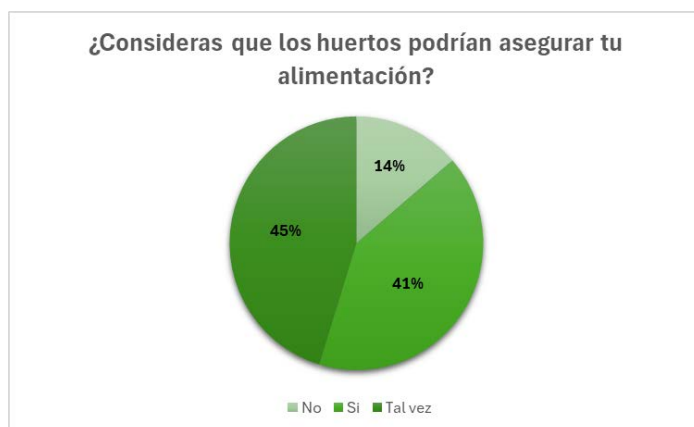
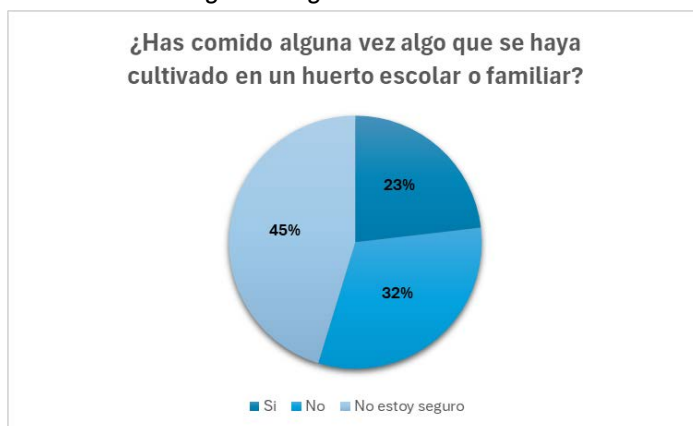


Figura 14. Percepción del papel de los huertos agroecológicos en la seguridad alimentaria



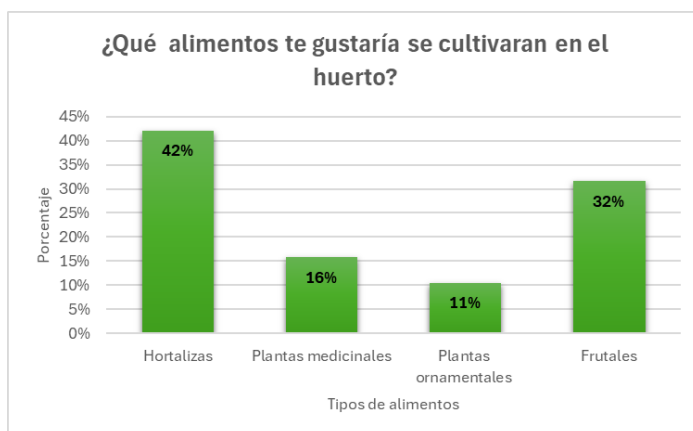
Por otro lado, se les pregunto a los participantes si alguna vez habían comido algo cultivado en un huerto que bien podía ser escolar o familiar, un 45% dijo no estar seguro y un porcentaje minoritario del 23% dijo que si (figura 15).

Figura 15. Consumo de cultivos en huertos agroecológicos



Finalmente, al preguntarles sobre que alimentos les gustaría que se cultivaran en el huerto, el 42% opto por la opción de hortalizas y un porcentaje minoritario del 11% selecciono la opción de plantas ornamentales (figura 16).

Figura 16. Consumo de cultivos en huertos agroecológicos



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir del diagnóstico participativo realizado esclarecen el nivel de conocimiento y percepción de los estudiantes de educación básica sobre los huertos agroecológicos. El hecho de que el estudio abarcara tres niveles de educación básica permitió registrar una amplia diversidad de opiniones contrastantes entre cada etapa.

Aunque la mitad de los encuestados nunca había escuchado sobre el concepto del huerto agroecológico la mayoría lo asocio con un espacio en el cual se producían plantas, lo cual refleja un conocimiento inicial limitado, así mismo se aprecia cierta percepción de que estos sitios funcionan como áreas de conservación, destacando que muchos participantes no son capaces de identificar la

relación entre los huertos y la seguridad alimentaria, poniendo de manifiesto una necesidad existente de actividades de divulgación y educación ambiental sobre el tema.

A pesar de esto en los resultados se evidencian aspectos positivos, muchos de los estudiantes han realizado actividades previas asociadas a los huertos agroecológicos, esto constituye una base práctica que podría ser aprovechada para la consolidación de aprendizajes, además, casi la mitad de los encuestados mostró interés en participar en la creación y posterior manejo del huerto así como en todas las actividades asociadas a su mantenimiento, lo cual refleja un potencial significativo en el desarrollo de proyectos de aprendizaje activo y comunitario.

Otro aspecto para destacar es que aunque en la mayoría de los hogares de los encuestados no se produce su propio alimento, los participantes expresaron una preferencia por las hortalizas, lo que resalta una inclinación hacia la producción de alimentos básicos, esta tendencia ayuda a orientarse sobre los intereses de la comunidad estudiantil en una futura intervención.

Los resultados reflejan que aunque existen vacíos conceptuales importantes sobre la agroecología entre los participantes estos demuestran disposición, curiosidad e interés por involucrarse en experiencias de este tipo, con lo cual se puede decir que los huertos agroecológicos se perfilan no solo como una opción de producción sustentable, sino también como un recurso pedagógico innovador para el fortalecimiento de aspectos asociados a la educación ambiental y la seguridad alimentaria.

La información obtenida resulta valiosa para el diseño de estrategias que aborden problemáticas actuales que requieran respuestas pertinentes, los huertos aplicados como una herramienta de enseñanza favorecen la educación integral de los estudiantes al tiempo que fomenta el trabajo colaborativo y contribuye a mejorar el entorno y la forma en que los estudiantes perciben los sistemas productivos actuales.

Finalmente, la divulgación y establecimiento de huertos agroecológicos modelos en escuelas de educación básica se considera como una estrategia novedosa para enfrentar los desafíos ambientales, alimentarios y educativos actuales, guiando hacia la adopción de prácticas amables con el ambiente y a un futuro sustentable.

REFERENCIAS

- Agroecología y patrimonio biocultural. (2024). *Proyecto piloto Huertos agroecológicos*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/agroecologiaypatrimoniobiocultural/acciones-y-programas/proyecto-piloto-huertos-agroecologicos>
- Avila, H. F., González, M. M., & Licea, S. M. (2020). La entrevista y la encuesta: ¿ métodos o técnicas de indagación empírica? *Didáctica y Educación* ISSN 2224-2643, 11(3), 62-79

- Llerena, G. y Espinet, M. (2015). Agroecología escolar: Fundamentación teórica y estudio de casos sobre el desarrollo de huertos escolares con el referente de la agroecología. Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de la Matemática
- Loyo, B. E. En el aula y la parcela: vida escolar en el medio rural (1921-1940). En: De los Reyes, A. (Ed.). Historia de la vida cotidiana en México. Siglo XX. Campo y Ciudad. Tomo V. Volumen 1. México: Fondo de Cultura Económica, 2006. p. 273-312.
- Morales, H, (2017). Editorial. Ecofronteras, 21(61), 1-1 Disponible en: <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/issue/view/157>
- Morales, H., Ferguson, B., Chung, K., & Nigh, R. (2021). Escalamiento de la agroecología desde el huerto escolar y la importancia de reconocer la cultura, los alimentos y lugar. *Desenvolvimento e Medio Ambiente*, 58, 642-665.
- Sevilla Guzmán, E. y Soler, M. (2010) : “Agroecología y Soberanía Alimentaria: Alternativas a la Globalización Agroalimentaria”. En Patrimonio Cultural en la Nueva Ruralidad Andaluza. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía. Vol. 1., Sevilla: pp. 190-217
- Torres, A., & Del Valle, J. (2016). Agroecología y Educación: los huertos escolares. In VI Congreso Internacional de Agroecología. Congreso llevado a cabo en la Universidad de Vigo, España

MANEJO NUTRIMENTAL DE CULTIVOS MEDIANTE SENSORES NPK: UNA ESTRATEGIA TECNOLÓGICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA EN LA UMI-ITUG

Griselda Rodríguez Agustín¹

Youssef Utrera Vélez²

Jazmín Balderrabano Briones³

RESUMEN

Los cultivos agrícolas, tanto en campo abierto como en invernadero, implican una labor ardua para lograr resultados óptimos en cuanto a la calidad del producto terminado. Sin embargo, cada día es más difícil controlar factores como las condiciones climáticas, plagas y enfermedades que los afectan. De ahí la importancia de establecer estrategias que permitan obtener cultivos con mayores niveles nutricionales, sin dañar el suelo, para que este siga siendo fértil y sustentable.

Esta investigación se centró en los cultivos de tomate, calabacita y habanero, en la Unidad de Manejo Integral del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (UMI-ITUG), utilizando sensores de suelo para monitorear parámetros clave como la conductividad eléctrica (EC), el pH, la humedad y la concentración de macronutrientes. Se aplicaron diferentes tratamientos de fertilización con biofertilizantes, fertilizantes químicos y prácticas de agricultura sustentable. Los datos recopilados permitieron realizar ajustes dinámicos a las estrategias de fertilización, logrando mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes y minimizar el impacto ambiental.

La integración de tecnologías digitales en el manejo agronómico representa un avance crucial hacia una agricultura más rentable, precisa y respetuosa con el medio ambiente facilitando la toma de decisiones basadas en datos.

Palabras Clave: Agricultura de Precisión, Sensores NPK, Fertilización Agrícola, Manejo Nutrimental, Cultivos Hortícolas.

ABSTRACT

Agricultural crops, both in open fields and greenhouses, require arduous work to achieve optimal results in terms of the quality of the finished product. However, it is increasingly difficult to control factors such as weather conditions, pests, and diseases that affect them. Hence the importance of establishing

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. griselda.ra@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. youssef.uv@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jazmin.bb@ugalvan.tecnm.mx

strategies that allow for obtaining crops with higher nutritional levels without damaging the soil, so that it remains fertile and sustainable.

This research focused on tomato, zucchini, and habanero crops at the Integrated Management Unit of the Úrsulo Galván Technological Institute (UMI-ITUG), using soil sensors to monitor key parameters such as electrical conductivity (EC), pH, moisture, and macronutrient concentrations. Different fertilization treatments were applied with biofertilizers, chemical fertilizers, and sustainable agricultural practices. The data collected allowed for dynamic adjustments to fertilization strategies, improving nutrient uptake efficiency and minimizing environmental impact.

The integration of digital technologies into agricultural management represents a crucial step toward more profitable, precise, and environmentally friendly agriculture, facilitating data-driven decision-making.

Keywords: Precision Agriculture, NPK Sensors, Agricultural Fertilization, Nutrient Management, Horticultural Crops.

INTRODUCCIÓN

Al parecer, la perspectiva de la agricultura inteligente aprovecha el poder de las tecnologías modernas como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de big data para transformar las prácticas agrícolas tradicionales.

Hoy en día los avances vertiginosos del mundo en general, nos obliga como sociedad responsable a comprometernos de hacer uso de las nuevas tecnologías, en el caso de los cultivos ya sea en campo abierto o de invernadero utilizar herramientas valiosas para el sector agrícola es primordial, tal como es caso del uso de sensores NPK los cuales permiten a los agricultores monitorear con precisión los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, estos sensores suelen emplear electrodos selectivos de iones para medir los iones de interés.

Así mismo se busca realizar la optimización tanto en fertilización con el uso de las nuevas tecnologías al igual que las mejoras en las estrategias para los nutrimentos de los cultivos, considerando las pruebas que en años anteriores se realizaban en los cultivos, sin olvidar los conocimientos que la vieja escuela de agricultores proporcionó y tomar lo bueno y poder mejorarlo, corregir el fallo que pudiera existir y tener un nivel de calidad en los mismos.

Dicho así en el presente trabajo de investigación se implementaron una serie de pruebas de sensores en los cultivos de tomate, pipián y habanero, mediante los cuales se recopilaban datos en tiempo real sobre diversos parámetros nutrimentales de los cultivos. Luego, estos datos se analizaron para tomar decisiones informadas, optimizar las estrategias de manejo de cultivos y mitigar riesgos potenciales.

Obteniendo resultados favorables en las prácticas de los cultivos, sobre los nutrientes que aprovecha cada cultivo en los distintos tratamientos que recibieron, gracias a la medición con sensores se pudo llevar a cabo la prueba para lograr una optimización en cuanto a los fertilizantes agrícolas.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Los trabajos de investigación y evaluación mediante sensores NPK y otros elementos para una estrategia en el manejo nutrimental en cultivos, se realizaron en el área UMI (Unidad de Manejo Integral), del Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván, ubicado en el Municipio de Úrsulo Galván, en la región centro costera de Veracruz, y con el apoyo del proyecto TECN-M-PRODEP IDCA – 34131.

El campo de estudio fueron diversos cultivos de la UMI-ITUG. Se instalaron y calibraron los sensores electrónicos para la medición de nutrientes NPK en el suelo y en los cultivos, con el fin de obtener datos precisos sobre la absorción y disponibilidad de nutrientes.(Figura 1). Se tomaron muestras para análisis en diferentes etapas fenológicas del cultivo, con la finalidad de evaluar los niveles de nutrientes y determinar las necesidades específicas de fertilización.(Figura 2). Para la aplicación de fertilizantes, se realizaron diferentes dosis y métodos de fertilización NPK en diversos cultivos, comparando su efecto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Figura 1. Instalación de sensores electrónicos, y cultivo seleccionado.



En base al análisis de los datos obtenidos, se implementaron prácticas agrícolas sustentables, como la fertilización de precisión, el uso de biofertilizantes y la rotación de cultivos, para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes.

Figura 2. Toma de muestras de nutrientes



Figura 3. Medición de niveles nutritivos en los cultivos.



Se llevó a cabo el monitoreo y seguimiento continuo del estado nutricional de los cultivos, mediante la recopilación y análisis de datos de sensores, evaluaciones en campo y ajustes en la aplicación de fertilizantes según las necesidades detectadas (Figura 3). De esta manera se pueden concluir las actividades permitiendo cumplir con el objetivo, garantizando un manejo eficiente y sustentable de la nutrición agrícola.

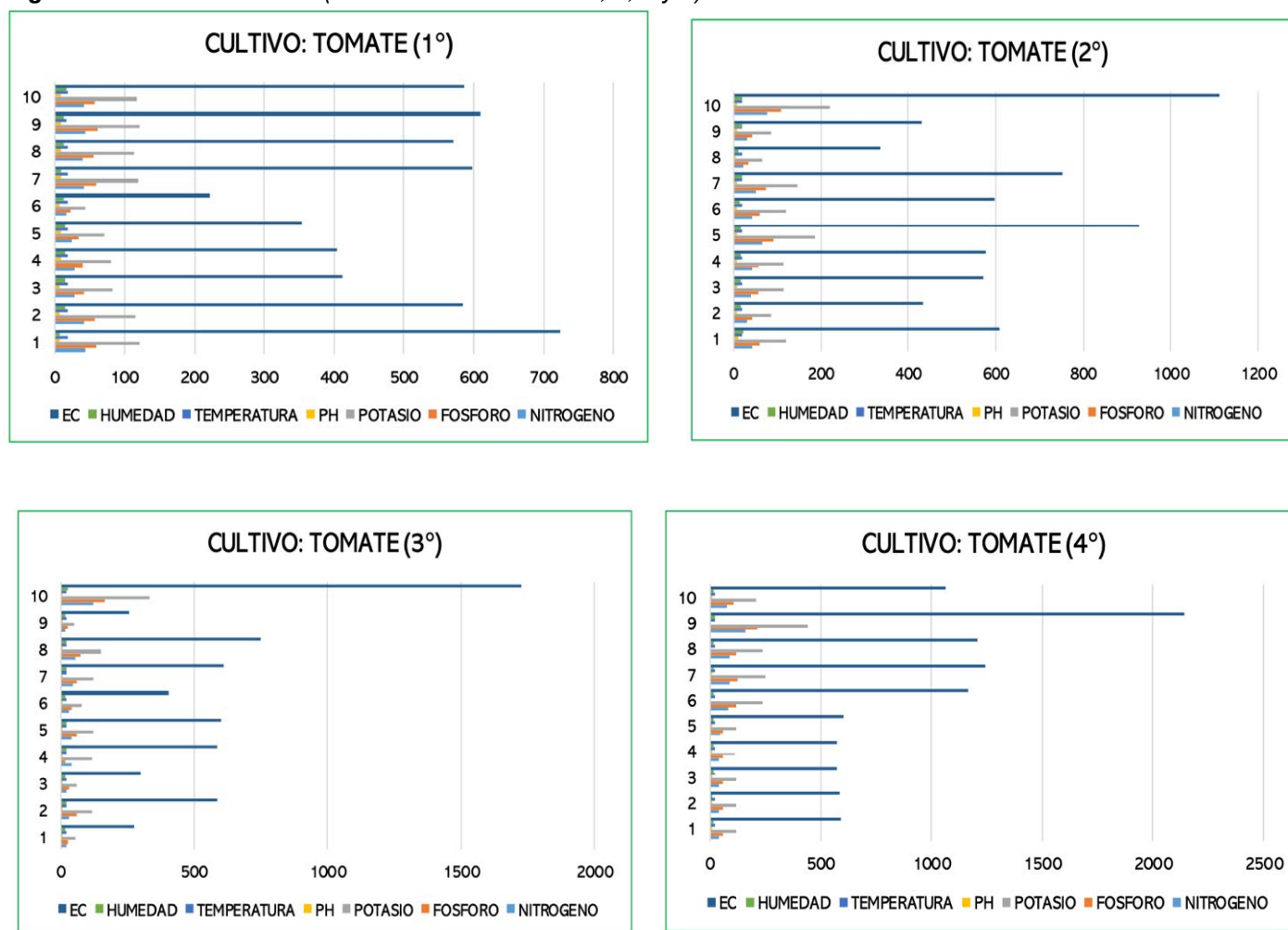
RESULTADOS

La investigación, de naturaleza no experimental, implicará un análisis de datos utilizando estadísticas descriptivas. Este enfoque se adecuará al tipo de variables involucradas y en diferentes bloques (muestras) para tener una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

En el cultivo del tomate en la muestra número 1, de los tratamientos 1,2,3 y 4 con 10 plantas muestreadas en cada fecha de lectura y en cada tratamiento. (Figura 4), las mediciones realizadas mediante sensores se obtuvieron que la medición de EC ayudo a determinar que en las 10 plantas el agua de riego contiene un nivel de sales elevado, así mismo los niveles de humedad son adecuados (en un 70%) para una humedad apta para dicho cultivo, ahora en general considerando los niveles de potasio que tienen las plantas de tomate es crucial para la calidad de la fruta, la maduración y el rendimiento.

En la muestra número 1, en el tratamiento número 2, los niveles EC en las plantas sigue siendo alto, mientras que los niveles de humedad descenden de los niveles que se mostraban en el tratamiento 1, y considerando que los niveles de potasio siguen siendo buenos para la maduración de la planta. Observando el tratamiento 3 de la muestra 1, los niveles de EC son altos siendo el mayor arriba de 1500 ms/cm, por lo que el potasio de la planta número 10 es la que mantiene un nivel óptimo para su maduración.

Figura 4. Cultivo de Tomate (Muestra 1/ Tratamiento1, 2, 3 y 4).



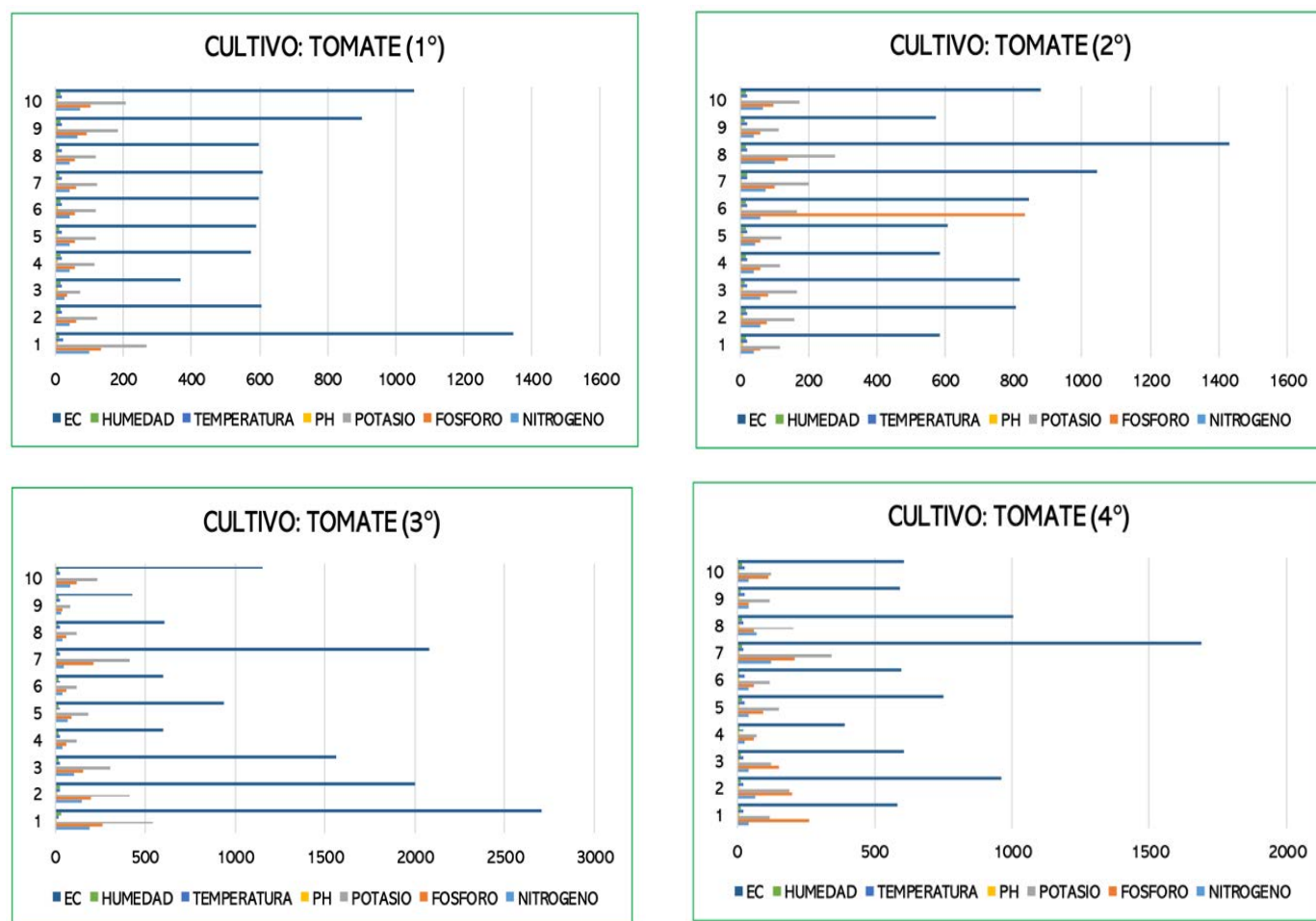
Para finalizar con la observación de la muestra 1 del cultivo de tomate se obtuvieron resultados del tratamiento número 4, mayormente satisfactorios en los niveles de EC, potasio, humedad y fosforo en las plantas.

En el cultivo del tomate en la muestra 2, se realizaron 4 tratamientos con 10 plantas como muestra de toma de datos, donde se puede observar que los niveles de potasio, fosforo y EC son adecuados para una fruta con mayor nutrientes y maduración sin problema. (Figura 5)

En la planta 6 el nivel de fosforo se eleva, dejando la humedad por debajo de los niveles necesarios derivando en que la humedad no es la adecuada para que la planta pueda absorber este nutriente correctamente.

A diferencia del tratamiento 2, los niveles de fosforo en las plantas son de términos correctos, así como los de fosforo y potasio como se observa en la figura del tratamiento 3, ahora el pH ideal para las plantas de tomate se encuentra entre 6.0 y 6.8, ya que este rango facilita la disponibilidad de nutrientes.

Figura 5. Cultivo de Tomate (Muestra 2/ Tratamiento1, 2, 3 y 4).

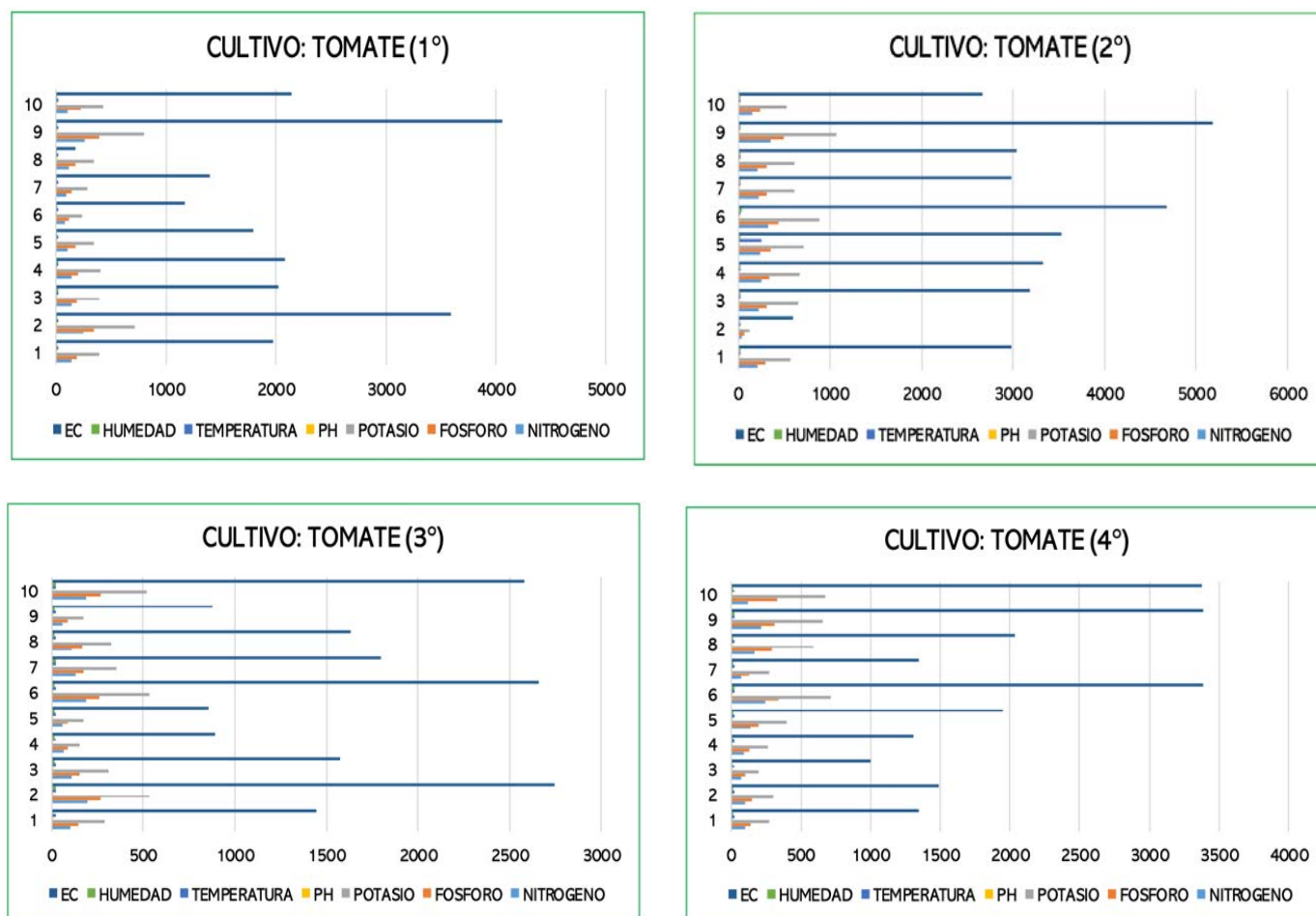


Finalizando la muestra número 2, en el tratamiento 4 se obtuvieron resultados donde las plantas mantenían un rango similar en cuanto a la absorción de nutrientes derivado de la humedad, destacando las plantas 7 y 8 con niveles más altos de potasio.

En el cultivo del tomate en la muestra 3, iniciando con en el tratamiento 1 se obtuvieron los siguientes resultados, el nivel de nitrógeno indica si la planta está recibiendo la cantidad adecuada de este nutriente, lo que afecta su crecimiento, desarrollo y producción de frutos. Los riegos con agua de sal a las plantas de la penúltima muestra en el tratamiento 2, derivan resultados donde, los niveles de EC

son altos y por consiguiente buenos, el potasio y el fósforo siguen siendo nutrientes óptimos. (Figura 6)

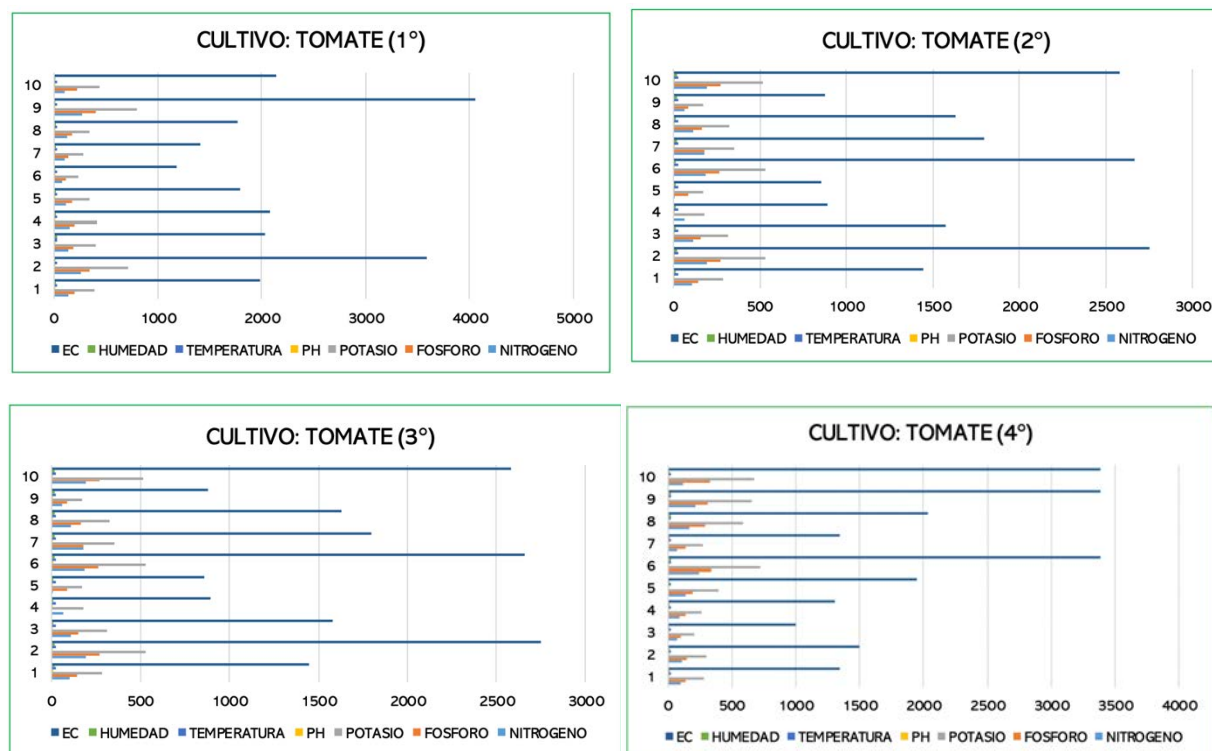
Figura 6. Cultivo de Tomate (Muestra 3/ Tratamiento1, 2, 3 y 4).



Para finalizar los tratamientos de las 10 plantas en la muestra número 3, se obtienen resultados donde todas las plantas tienen una humedad en niveles perfectos para la absorción de nutrientes, dando así una producción en maduración correcta.

La última muestra que se realizó al cultivo del tomate en los 4 tratamientos, se obtuvieron resultados en el tratamiento 1 donde el potasio tiene un nivel destacado lo cual influye en el crecimiento de la fruta y la firmeza en su maduración. (Figura 7). La medición de los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, permiten una gestión precisa de la fertilización, donde los niveles de los nutrientes de las 10 plantas muestreadas se encuentran en rangos similares.

Figura 7. Cultivo de Tomate (Muestra 4/ Tratamiento1, 2, 3 y 4).



Como se observa, los niveles de nitrógeno en las plantas 4 y 9, indicando que necesitan mayor cantidad del nutriente ya que es componente clave de la clorofila, necesaria para la fotosíntesis y de las proteínas, esenciales para el desarrollo de la planta. Se muestra que el pH está en un nivel bajo teniendo en cuenta que puede tolerar hasta 5.5, y considerando que un pH adecuado es crucial para la disponibilidad de nutrientes en el cultivo.

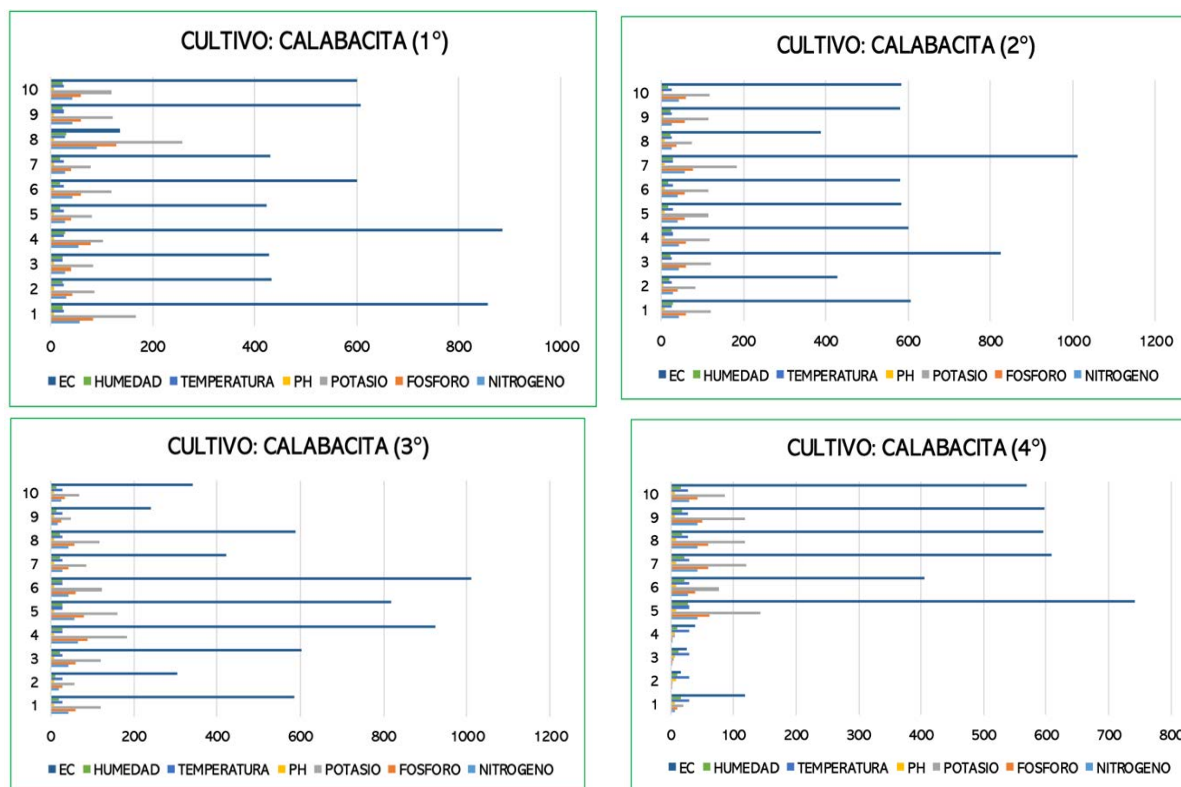
Continuando con los resultados obtenidos las demás pruebas que se hicieron con los cultivos, como el de calabacita al igual que el tomate se realizaron plantaciones y riegos diversos en 4 bloques (muestras) con 4 tratamientos con 10 plantas muestreadas en cada fecha de lectura y en cada tratamiento,

En el cultivo de la calabacita en la muestra 1, en el tratamiento 1; la medición de EC indicó que la salinidad del suelo es alta lo cual pudiera influir de forma negativa en la disponibilidad de nutrientes de las plantas y la salud general del suelo. (Figura 8) Por lo que, para el cultivo de la calabacita, se requiere un suelo con un pH entre 5.5 y 6.8 y una adecuada fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio, así como un riego suficiente y constante.

En el tratamiento 3 los niveles de humedad se encuentran equilibrados (50% y 70%) favoreciendo al crecimiento saludable y a la buena producción del fruto.

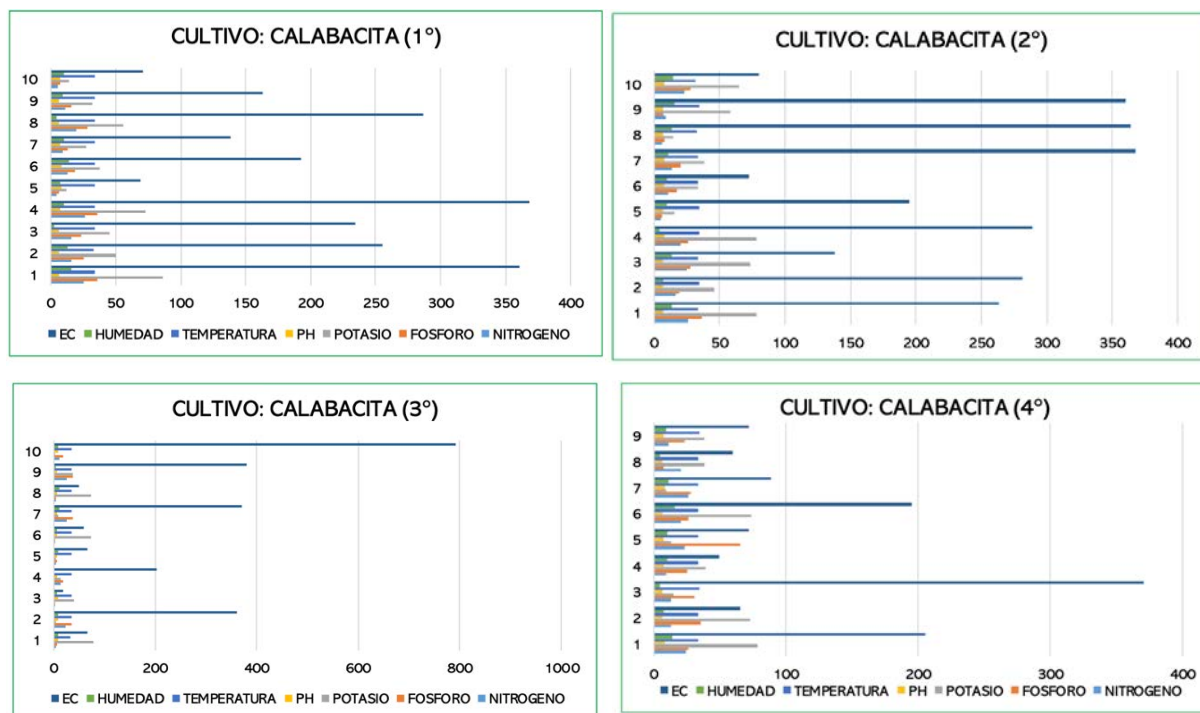
Para las plantas muestreadas en el bloque 1 del cultivo de calabacita, se obtiene como resultado que las plantas 2,3 y 4 tienen un nivel bajo de EC al igual que de fósforo lo cual indica problemas nutricionales que afectan el crecimiento y desarrollo.

Figura 8. Cultivo de Calabacita (Muestra 1/ Tratamiento 1, 2, 3 y 4).



Muestra número 2, tratamiento 1 del cultivo de calabacitas (Figura 9), de la planta 5 a la 10 los niveles de EC son bajos lo cual indica que el riego con agua de sal al 50%, mostrando diferencia de absorción en las plantas 1,2,3 y 4. Los niveles de humedad del cultivo de calabacita en el tratamiento 2, se encuentran en niveles dentro de un rango de 60% en las 10 plantas muestreadas.

Figura 9. Cultivo de Calabacita (Muestra 2/ Tratamiento 1, 2, 3 y 4).



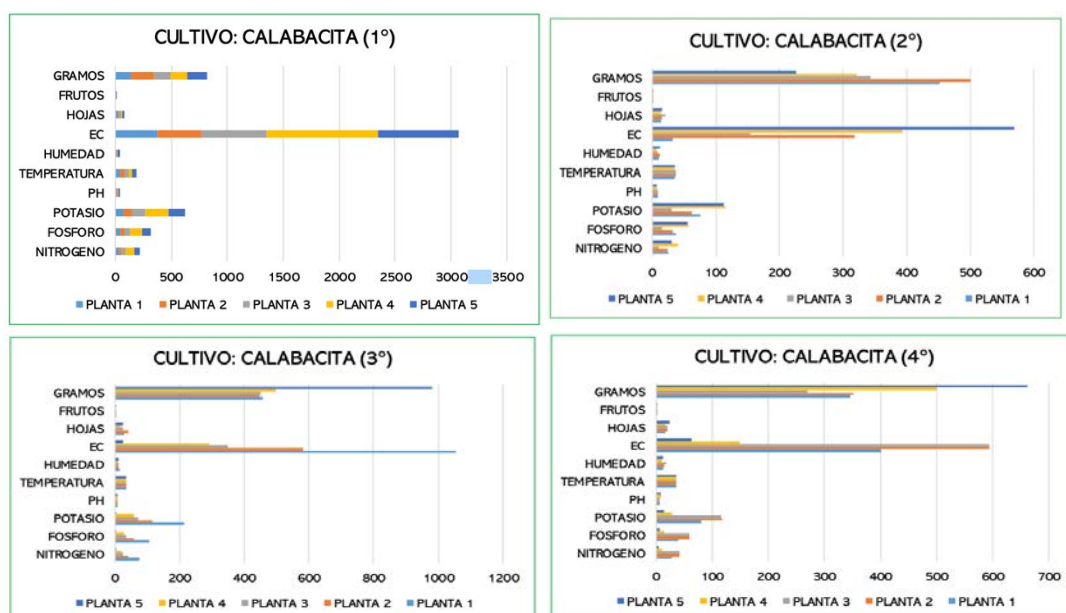
Considerando los niveles de EC que se observan en la Figura 9, donde se indica que puede provocar quemaduras por sal y toxicidad de los nutrientes en la planta 10. Considerando lo ocurrido en tratamiento 3, se realizaron correcciones en el agua

de riego reduciendo el porcentaje de agua salada para el tratamiento 4 y así reduciendo el nivel de EC en las plantas.

Iniciando con la obtención de resultados de muestra 3, en el tratamiento 1 la planta 4 tiene mayores niveles de EC, potasio, fosforo y nitrógeno, estos van a tener influencia directa en la calidad de la planta, que se determina por la altura de planta, número de hojas, índice de área foliar, etc. En el nivel de frutos es notorio que en las 5 plantas muestreadas tienen resultados muy similares. (Figura 10)

Los niveles de ph, temperatura, humedad, hojas y frutos en las 5 plantas muestreadas del tratamiento 3 resultaron equilibrados, es decir parcialmente iguales.

Figura 10. Cultivo de Calabacita (Muestra 3/ Tratamiento 1, 2, 3 y 4).

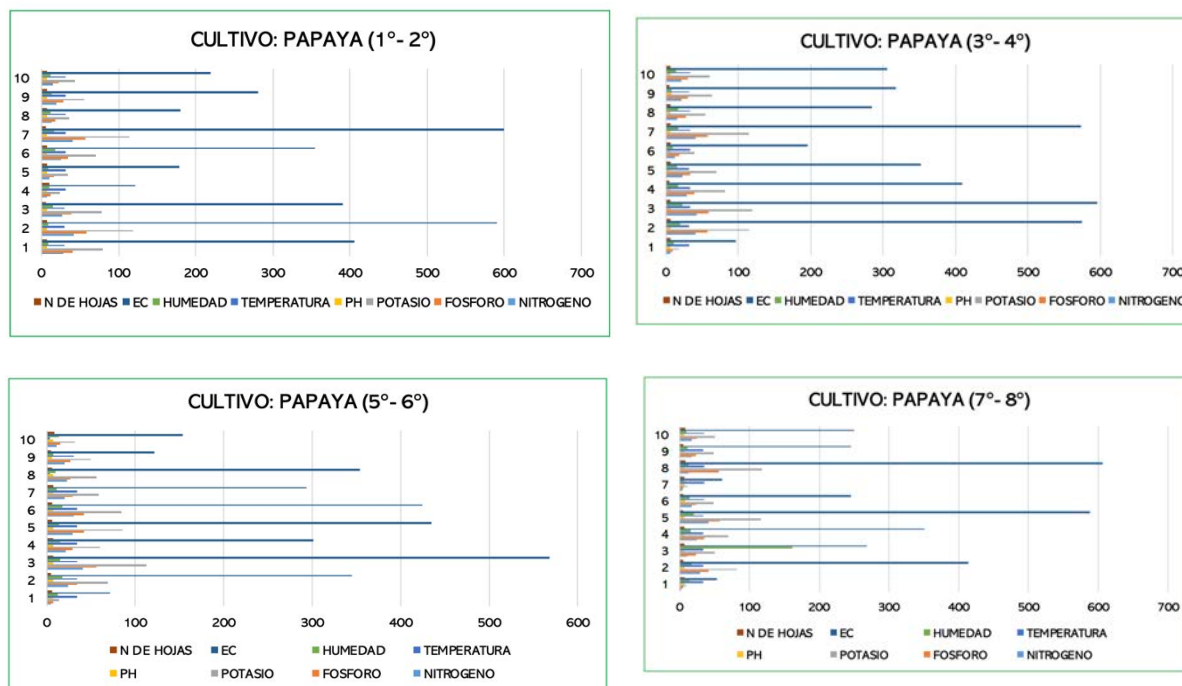


Terminando con la toma de datos de la muestra 3 en el tratamiento 4, las 5 plantas muestreadas conservaron la absorción de nutrientes en formas muy similares, exceptuando la planta 2 y 3 teniendo mayor nivel de EC.

En el cultivo de papaya en la primera muestra se realizaron las comparaciones de 8 tratamientos de 5 plantas muestreadas, como se observa en la Figura 11, se agruparon los tratamientos 1 y 2 obteniendo como resultado que el número de hojas es mayor en las plantas del 5 al 10 (las del tratamiento 2), al igual que es mayor el nivel de potasio; se observa que los niveles de humedad en las 10 plantas muestreadas están dentro del rango del 60%, mientras que el nivel de EC en la planta 1 se encuentra por debajo de las 9 plantas restantes.

Pese al buen nivel de humedad en las 10 plantas muestreadas (tratamiento 5 y 6 de 5 plantas cada uno), los niveles EC son nobles en mayoría derivando como resultado que el riego con agua salada al 50% eleva dichos niveles, así mismo las 10 plantas muestreadas de los tratamientos 7 y 8 (final de la muestra 1) los niveles de EC son altos y en la planta 3 el nivel de humedad sobre sale de las demás plantas, teniendo niveles de fosforo muy bajos.

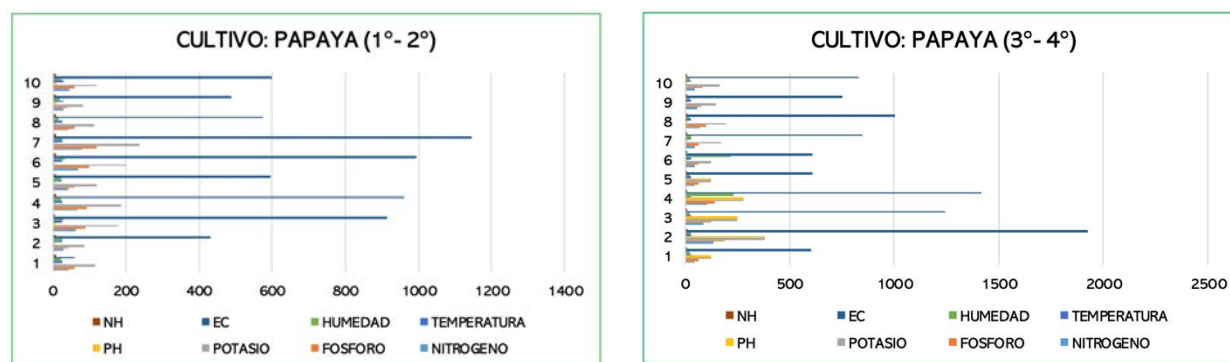
Figura 11. Cultivo de Papaya (Muestra 1 / Tratamiento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8)



En el cultivo de papaya en la segunda muestra se realizaron 4 tratamientos de 5 plantas muestreadas en cada tratamiento, agrupando los datos en dos tablas (dos tratamientos cada una) comparativas y obteniendo resultados de EC y potasio elevados en las 10 plantas muestreadas, pero con niveles de fosforo y humedad en rangos equitativos, considerado que el riego fue de agua de rio.

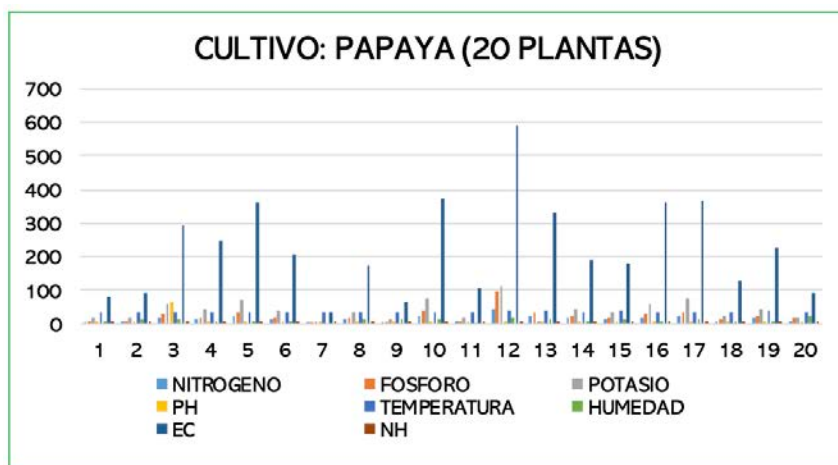
Con la obtención de resultados en la muestra 2, de la planta 2 a la 5 los niveles del ph se elevaron y la humedad de la planta 7 se excedió, lo que indica que el agua de rio conserva un ph neutro.

Figura 12. Cultivo de Papaya (Muestra 2 / Tratamiento 1, 2, 3, y 4)



Para concluir con el muestreo del cultivo de papaya como se observa en la Figura 13, de las 20 plantas muestreadas se obtienen como resultado que los niveles de nitrógeno, potasio, humedad y fosforo están en niveles similares lo cual indica que la absorción de nutrientes fue equitativa en el cultivo.

Figura 13. Cultivo de Papaya (Muestreo de 20 plantas)

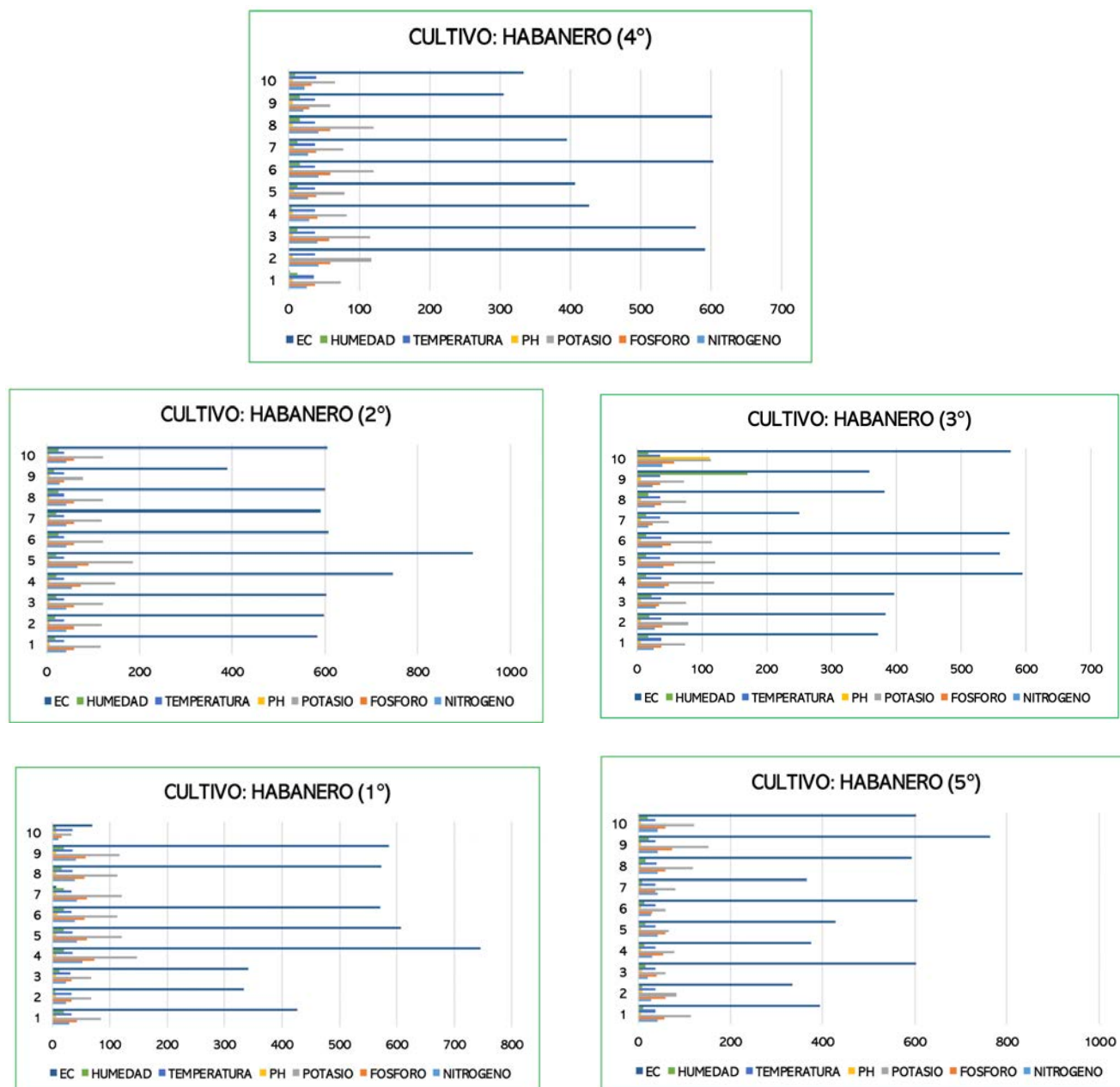


En el cultivo del habanero en las 10 plantas muestreadas para el tratamiento 1 en la primera toma, con el riego de agua salada el nivel de EC la elevación es notable, así como la del nivel de potasio y fosforo, considerando que la humedad es buena.

Los niveles de EC siguen elevados en el tratamiento 2, lo que indica que las sales minerales que se encuentran disueltas en el agua y que son conductoras de electricidad, y si es muy alta, las raíces acumularán sales minerales que impedirán su alimentación, provocando sobre fertilización.

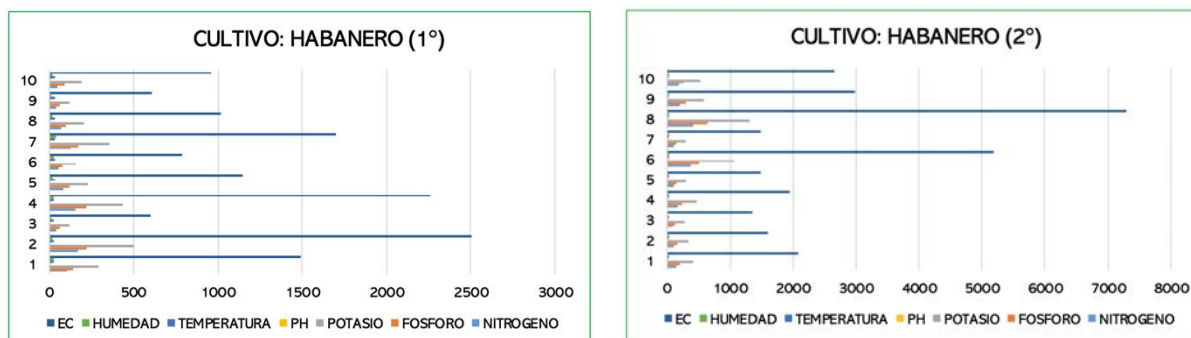
En el tratamiento 3 el ph se elevó considerablemente en la planta 10 así como la humedad en la planta 9, mientras que el potasio se mantuvo en niveles similares en las 10 plantas muestreadas. En los tratamientos 4 y 5 finales de la muestra 1, con 10 plantas muestreadas para cada toma, los resultados obtenidos tienden a ser muy parecidos, es decir que los niveles de EC son de los niveles sobresalientes (en las 20 plantas) y que necesita riegos con menor agua salina, lo que indica que hay que considerar en suelos con pH de 5.5, por lo tanto existe la necesidad de hacer enmiendas, ya que afecta la disponibilidad de los nutrientes. (Figura 14)

Figura 14. Cultivo de Habanero (Muestra 1/Tratamiento 1, 2, 3, 4 y 5)



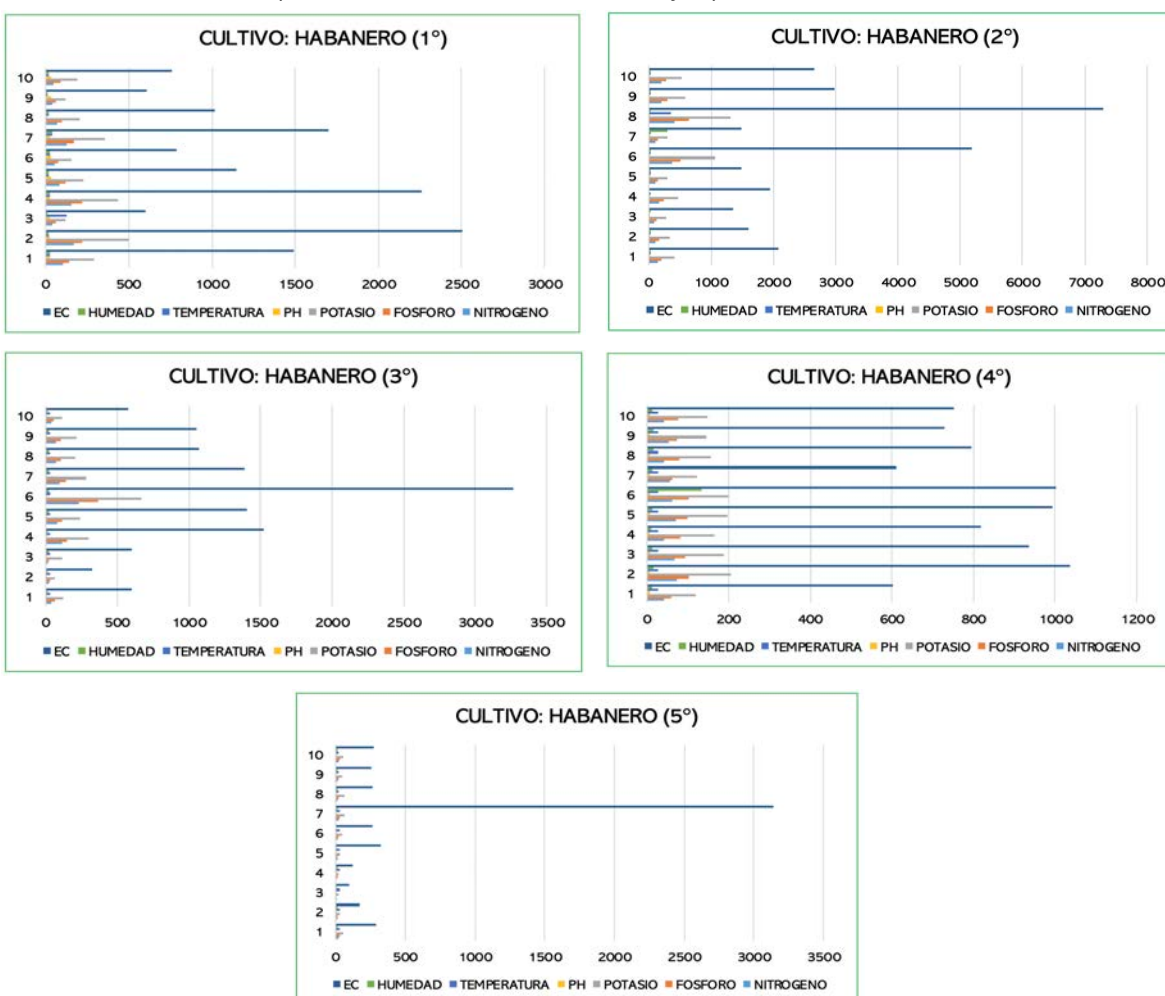
En el cultivo de habanero en la muestra 2 se realizaron 2 tratamientos con 10 plantas muestreadas en cada tratamiento, donde el riego fue de agua de rio, dando como resultado que los niveles de EC estén altos, mientras que la planta no podrá absorber los nutrientes necesarios, produciendo un bloqueo. En la muestra 2 del cultivo de habanero, en el tratamiento 2, los niveles de EC se elevaron más que en el tratamiento 1, dejando casi nulos los niveles de humedad, pH y temperatura en las 10 plantas muestreadas, lo que indica que entre más bajo es el pH de una sustancia, más fuerte es el ácido. (Figura 15)

Figura 15. Cultivo de Habanero (Muestra 2/Tratamiento 1 y 2)



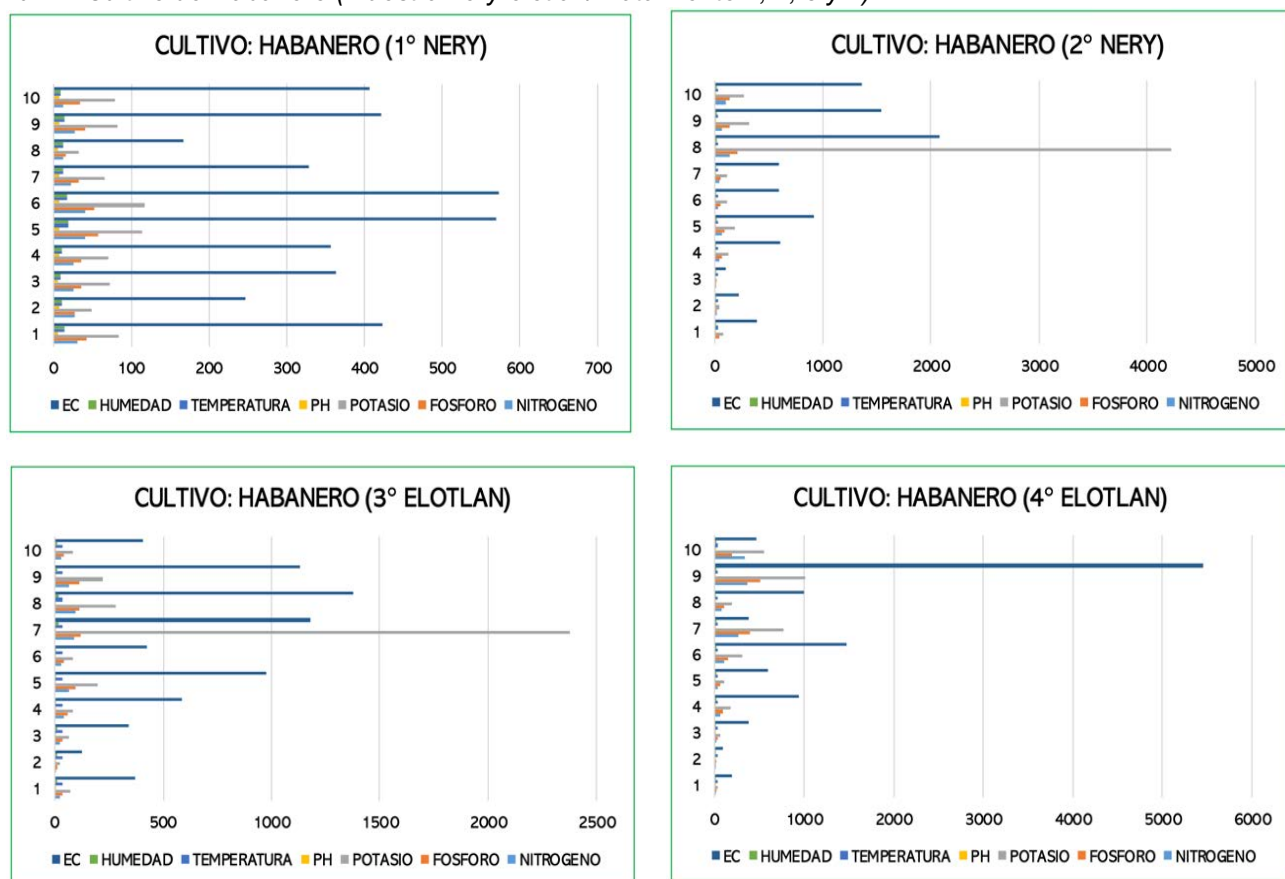
En el tratamiento 3 de 10 plantas muestreadas, ocurrió el mismo caso que en los tratamientos 1 y 2 (Figuras 15), lo que hace referencia a que el riego con agua salada no fue el adecuado para el cultivo del habanero, como se observa en la Figura 16, donde los niveles EC siguen siendo altos. Los resultados no fueron los esperados en el cultivo, ya que el nitrógeno es fundamental para el crecimiento de las hojas, pero una vez que aparecen las flores, es hora de reducirlo, mientras que el fósforo estimula la floración y el potasio se centra en la fruta, por tanto niveles de estos nutrientes quedaron bajos derivando en cultivo que no obtuvo la absorción de nutrientes necesarios para que diera frutos.

Figura 16. Cultivo de Habanero (Muestra 2/Tratamiento 1, 2, 3, 4 y 5)



Finalizando con los muestreos del cultivo de habanero, se realizaron 4 tratamientos con 10 pantas en cada una de las variedades utilizadas; como se observa en la Figura 17 con la variedad de habanero Nery en el primer tratamiento, obtuvo una buena absorción de los niveles requerido de potasio, fosforo y nitrógeno. En el tratamiento 2 del cultivo de habanero Nery, en la planta 8 el nivel de potasio se elevó considerablemente sobre las demás plantas, los desniveles en las 10 plantas muestreadas en los debidos nutrientes resultaron inconsistentes, derivando en la poca absorción de nutrientes que alcanzaron lo cual originó un cultivo deficiente. Como resultado final en los muestreos del cultivo de habanero en la variedad de Elotlan, en el tratamiento 3 los niveles de humedad que obtuvieron las 10 plantas fue muy bajo afectando a la producción habiendo una pérdida de calidad del fruto, al igual que del nivel de nitrógeno, y el potasio elevo considerablemente el nivel en la planta 7.

Figura 17. Cultivo de Habanero (Muestra nery-elotlan/Tratamiento 1, 2, 3 y 4)



Por tanto, los resultados obtenidos de el ultimo tratamiento del cultivo de habanero, no fueron los esperados, ya que las plantas no obtuvieron la absorción de nutrientes como se esperaba y la producción no llego al término del ciclo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general los cultivos de tomate, calabacita, papaya y habanero que se plantaron, con diferentes muestras y distintos tratamientos con 10 plantas muestreadas en cada tratamiento, obtuvieron resultados óptimos con variaciones considerables de acuerdo a cada cultivo, resaltando que a los tratamientos que tuvieron riego con agua de sal al 50% alcanzaron un nivel de EC mayormente más elevado que los tratamientos que se regaron con agua pura, así mismo los cultivos que regaron con agua de río muestran elevadas concentraciones de cadmio y plomo, lo cual implicó que en los tratamientos en los que se utilizó dicha agua la absorción de nutrientes no fue buena, específicamente en los cultivos de habanero donde una plaga los invadió, derivando en pérdida del cultivo.

Lo que nos da por resultado que en los cultivos que se utiliza para los riegos el agua de río tienen mayor probabilidad de contraer alguna plaga, derivado de las bacterias que contiene el agua.

REFERENCIAS

- Bariklo, J., Martínez, L., & Zárate, P. (2022). *Innovación y desarrollo agrícola en la era de la tecnología*. [Fuente].
- CEPAL. (2017). *La tecnología y la economía global*. [Fuente].
- García, M. (2020). *Ciencias agrícolas emergentes y su impacto global*. [Fuente].
- Munyua, H., Kimenye, L., & Wanjiku, J. (2009). *Data-Driven Agriculture: Future Perspectives*. [Fuente].
- ONU. (2019a). *Innovación tecnológica y competitividad en países en desarrollo*. [Fuente].
- Pinto, A., Rodríguez, E., & Sánchez, M. (2021). *Tecnologías digitales y su impacto en la agricultura*. [Fuente].
- Balaguera-López, Et Al. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS - Vol. 8 - No. 2 - pp. 302-313, julio-diciembre 2014
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Blogagricultura, 2023. (JULIO 2023). Estadísticas mundiales de producción de papaya. <https://blogagricultura.com/estadisticas-papaya-produccion/> .
- CONABIO, 2023. (JULIO 2023) http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/23-caric1m.pdf
- RIVAR. (2022). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-
- Rural, S. d. (2023). Obtenido de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable>

- Thompson, I. (agosto de 2005). *Portal de Mercadotecnia*. Obtenido de Portal de Mercadotecnia:
<https://www.promonegocios.net/mercadotecnia/definicion-concepto-venta.htm>
- SIAP, 2023. (JULIO 2023). AVANCES DE PRODUCCIÓN. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Papaya hecho en México. (JUNIO 2023). (03 de abril de 2017). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Comunicado. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumenta-30>.
- Wills, R. y M. Warton. 2004. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129(3), 433-438.

DEGRADACIÓN DE *Pleurotus djamor* EN 4 SUSTRATOS AGRÍCOLAS EN LA LOCALIDAD DE ÚRSULO GALVÁN, VER.

Juana Fabiola Jiménez Flores¹

Daniel Utrera López²

Ramiro Sánchez Uranga³

Héctor Miguel Escobar Molina⁴

Montserrat Acosta Cadenas⁵

RESUMEN

El trabajo se enfoca en la degradación de *Pleurotus djamor* en 4 sustratos agrícolas en la localidad de Úrsulo Galván, Ver. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto del proceso de dicho hongo sobre la degradación de los sustratos de olote (T1), cebada (T2), la mezcla intergenérica olote + paja de Cebada (T3) y rastrojo de maíz (T4) en términos de la composición química y el comportamiento de la producción del hongo comestible *Pleurotus djamor*. El estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología 2 del Tecnológico Nacional de México, campus Úrsulo Galván, localizado en la carretera Cardel Chachalacas Km. 4.5 en Úrsulo Galván, Ver. Mpio. de Úrsulo Galván. Las coordenadas 19°24'42" latitud norte y 96°21'30" longitud oeste. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 4 tratamientos x por 25 repeticiones por tratamiento; cada unidad experimental contó con 2 kilos de peso húmedo, las variables evaluadas fueron: Días a la aparición de primordios, Número de primordios, Número de hongos productivos, Peso de hongos, Número de hongos no productivos y Análisis bromatológico. El sustrato sobresaliente en este estudio es el Rastrojo de Maíz(T4), observándose que este presenta un pH alcalino natural promoviendo una excelente eficiencia biológica (degradación y mineralización) para esta especie; con el fin de aprovechar los sustratos agrícolas donde el Rastrojo de Maíz es una alternativa de utilización para la producción de hongos comestibles, para un mejor cuidado del medio ambiente, así también es una opción más de alimentación ya que se caracterizan por poseer un alto valor nutrimental.

Palabras clave: *Plurotus*, Djamour, hongo, degradación, eficiencia biológica, mineralización.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. juana.jf@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

⁵ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

ABSTRACT

This work focuses on the degradation of *Pleurotus djamor* in 4 agricultural substrates in the town of Úrsulo Galván, Ver. The objective of this work is to evaluate the effect of the process of said fungus on the degradation of the substrates of corncob (T1), barley (T2), the intergeneric mixture corncob + barley straw (T3) and corn stover (T4) in terms of the chemical composition and the behavior of the production of the edible mushroom *Pleurotus djamor*. The study was carried out in the Biotechnology Laboratory 2 of the National Technological Institute of Mexico, Úrsulo Galván campus, located on Cardel Chachalacas Highway Km. 4.5 in Úrsulo Galván, Ver. Mpio. of Úrsulo Galván. The coordinates 19 ° 24'42 "north latitude and 96 ° 21'30" west longitude. A completely randomized experimental design was used, with 4 treatments x by 25 repetitions per treatment; each experimental unit had 2 kilos of wet weight, the variables evaluated were: Days to the appearance of primordia, number of primordia, number of productive fungi, weight of fungi, number of non-productive fungi and bromatological analysis. The outstanding substrate in this study is Corn Stove (T4), observing that it presents a natural alkaline pH promoting excellent biological efficiency (degradation and mineralization) for this species; in order to take advantage of agricultural substrates where Corn Stove is an alternative use for the production of edible mushrooms, for better care of the environment, as well as it is another feeding option since they are characterized by having a high nutritional value.

Keywords: *Plurotus*, *Djamour*, fungus, degradation, biological efficiency, mineralization.

INTRODUCCION

Pleurotus djamor es un hongo pantropical, cultivado comercialmente en algunos países asiáticos. Debido a sus características de crecimiento, ciclos de cultivo cortos y aceptable valor nutrimental, es una especie comestible adecuada para su propagación y consumo en las regiones cálidas del mundo (Salomones, 2017). La importancia de los rastrojos, que han pasado en el olvido por los sectores académico y gubernamental en México, como lo demuestra la limitada información científica que existe sobre ellos. asimismo, es evidente que no se han tomado en cuenta explícitamente en políticas y estrategias gubernamentales que buscan la sustentabilidad en el medio rural. De ahí la necesidad de documentar en la actualidad de los rastrojos en México, qué se hace con ellos, cómo se aprovechan, qué papeles juegan en la actividad agropecuaria y cuál es su contribución futura para alcanzar la sustentabilidad. En México, el mayor volumen de rastrojos se obtiene de los cereales y está asociado directamente con la producción de granos por lo que, conforme aumenta la cantidad de granos producida para satisfacer la demanda alimenticia de la población, aumenta la disponibilidad de estos residuos (Montalvo Macuixtle, 2016).

Durante los últimos años, diversas investigaciones se han realizado para determinar el potencial de biodegradación de la lignocelulosa por especies comerciales de *Pleurotus*. Las enzimas ligninocelulolíticas producidas por *Pleurotus* spp. tienen un alto potencial de aplicación en las industrias papelera, química, textil y alimentaria, principalmente, aunque también tienen aplicación en procesos agrícolas y producción de forrajes para alimento animal (Rajaratnam et al., 1987, 1989; Cohen et al., 2002); y recientemente para la producción de bioenergéticos a partir de desechos agroindustriales (Salomones, 2017).

Planteamiento del problema

En la actualidad México presenta problemas en la producción agrícola. Con el incremento de esquilmos agrícolas o residuos de cosecha que no son incorporados a la producción primaria; si no que estan destinados a ser incinerados o quemados, o bien utilizados en el consumo animal, como el ganado bovino o vacuno generando un problema mayor ya que la digestibilidad de estos provocan la producción y emisión de gas metano a la atmosfera agudizando el efecto invernadero y el calentamiento global del planeta. Evidentemente en las políticas y acciones académicos -científicos no han sido enfocadas adecuadamente para disminuir estos problemas mediante el uso de degradadores primarios como son los hongos comestibles que realizan su función en poco tiempo dejando estos materiales a disposición de composteo rápido y en condición de descomposición rápida. Que permite la mineralización y disposición de elementos nutrientes de forma orgánica en apoyo de la sustentabilidad de la producción agrícola.

Objetivos.

General

- Evaluar la interacción degradación de 4 sustratos agrícolas y el rendimiento de *Pleurotus djamor* en la región de Úrsulo Galván, ver.

Específicos

- Determinar la degradación de 4 sustratos agrícolas por *Pleurotus dj amor* en la colonización y desarrollo de frutos frescos (carpóforos).
- Medir el rendimiento de *Pleurotus djamor* en 4 sustratos agrícolas en estudio.
- Comparar la relación de degradación contra la generación de biomasa (eficiencia biológica).
- Observar los factores que influyen en la interacción degradación-rendimiento de *Pleurotus djamor* en 4 sustratos agrícolas.

MARCO TEORICO

Muchos se enfocan en la habilidad de estos hongos en la degradación de compuestos persistentes, principalmente los de la familia phanerochaete donde se encuentran el hongo pleurotus ostreatus. Estos hongos son efectivos por que producen una enzima extra celular llamada Lacasa, esta cataliza una reacción que degrada la lignina, un compuesto aromático, un compuesto aromático. para catalizar estas reacciones poderosas la enzima requiere peróxido de hidrogeno, la cual el hongo produce (Coello, 2011)

Evaluar el efecto del proceso de cultivo de dos cepas nativas de Pleurotus djamor una cepa extranjera Pleurotus pulmonarius sobre la biodegradación de la paja de arroz, rastrojo de maíz y tuza de maíz en términos de la composición química y degradabilidad ruminal. Estos forrajes fueron manejados siguiendo un procedimiento para la producción comercial de hongos, que incluyó la pasteurización del sustrato a 85°C y por 80 minutos e inoculación con las cepas de hongos, incubación y cosecha, con un tiempo total del proceso de 45 días. Los sustratos post cosecha fueron sometidos a análisis químico y prueba de degradabilidad ruminal in situ. Las tendencias de comportamiento indican que, el proceso de cultivo de los hongos disminuyó la concentración de los parámetros químicos (ceniza, proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, hemicelulosa, celulosa, lignina) en los sustratos bio-degradados. En el sustrato no tratado y bio-degradado la paja de arroz presentó la mayor degradabilidad in situ. El proceso de cultivo de las cepas de Pleurotus spp. mejoró la degradabilidad in situ de la materia seca de la paja de arroz y rastrojo de maíz, sin diferencia significativa ($P_{0,05}$) entre cepas, no así la de la tuza de maíz. En cambio, la degradabilidad in situ de los componentes químicos fue mejorada por la RN2, excepto la hemicelulosa, disminuida por la RN81 y afectada en forma variada por la RN82. Se concluye que, al igual que la RN2, las cepas nativas mejoraron la calidad nutritiva de la paja de arroz y rastrojo de maíz bio-degradado, no así la de la tuza de maíz bio-degradada (Ruiloba, 2014).

Características generales de los hongos seta Antiguamente, los hongos y setas eran considerados plantas por su inmovilidad y por crecer en la tierra, por lo que han sido estudiados, tradicionalmente, por la botánica. Pero a medida que se fue avanzando en estudios de biología se fueron separando del reino vegetal, ya que no poseen clorofila y, por lo tanto, no realizan la fotosíntesis, siendo ésta la principal característica de las plantas. Podría englobarse en el reino animal, pero tampoco acabarían por encajar, por lo que la solución pasaría por la clasificación de los seres vivos en cinco reinos y uno de estos reinos es el fungí, al que pertenecen las setas y los hongos, que incluyen más de 100.000 especies. Este reino hizo necesario la aparición de una nueva ciencia que se encargara de su estudio, es la micología (Alzueta, 2018).

Clasificación taxonómica

Reino: Fungí
División: Basidiomycotina
Clase: Himenomycetes
Orden: Agaricales
Familia: Tricholomataceae
Género: Pleurotus
Especie: P. djamor

(Peralta E. L., 2008).

Partes de una seta Himenio. Es la parte, normalmente, situada bajo el sombrero y puede tomar distintas formas, láminas, tubos, agujones o pliegues. Su función principal es crear, desarrollar, almacenar y dispersar las esporas que generan un nuevo ciclo en la formación de una nueva seta. Sombrero. Situado sobre el pie, ejerce la función de protección en la formación y desarrollo de las esporas. Una de las características que permite diferenciar a las setas por el sombrero es debido a que puede tomar diferentes aspectos, formas y colores. Pie. Actúa como sujeción del himenio y del sombrero, aunque hay setas que pueden no tener pie o éste estar atrofiado. En este caso se dice que tienen aspecto sésil.

Valor nutrimental y propiedades medicinales

Las esporomas de P. djamor presentan un aceptable contenido nutrimental. Estos hongos son especialmente ricos en carbohidratos, con 32.7 a 48.3 g por cada 100 g de hongo (base seca) y proteína cruda de 20.7 a 28 g, con valores recomendables de fibra cruda (9.1 a 22.4 g) y cenizas (4.1 a 7.4 g), baja cantidad de grasas (0.11 a 2.09 g) y alta humedad (79.5 a 90%) La calidad nutrimental de la proteína de los hongos ha sido ampliamente estudiada, ya que una de las más importantes características biológicas de estos organismos son su capacidad de obtener el nitrógeno del sustrato de crecimiento y posteriormente sintetizarlo y transformarlo en aminoácidos. En este punto, los hongos del género Pleurotus son especialmente interesantes porque ellos pueden crecer en residuos lignocelulósicos con muy bajo contenido de nitrógeno, teniendo la capacidad de producir biomasa con mayor contenido de nitrógeno que el sustrato en el que están creciendo. Su calidad de proteína es alta, ya que está constituida principalmente por aminoácidos esenciales entre los que destacan la valina, isoleucina y fenilalanina, aunque también presentan valores aceptables de aminoácidos no esenciales como son, prolina, glutamato y aspartato. También contienen vitaminas, especialmente del complejo B (B1, B2) y D, además de los minerales K, P, Mg, Ca, Na, Zn, Fe, entre los más frecuentes, por lo que los hongos se consideran una buena fuente de K y P. Con base en su contenido nutrimental,

Pleurotus djamor, y en general los hongos comestibles, son un alimento altamente recomendado para diversos tipos de dietas (salomones, 2017).

Las propiedades medicinales de los hongos comestibles cultivados no sólo se han detectado en los esporomas, sino también, en el micelio e incluso en el medio de cultivo derivado del crecimiento micelial. Estas propiedades han sido ampliamente documentadas en las principales especies cultivadas y en el caso de *P. djamor* se han reportado compuestos bioactivos con propiedades anticancerígena, inmunomoduladora, antibiótica (antimicrobianas, antiviral, antifúngica), antiparasitaria, antioxidante, antilipídica y hepatoprotectora antiinflamatoria, antidiabética, (salomones, 2017).

Condiciones de cultivo, capacidad biodegradativa

Al igual que otras especies del género, *P. djamor* presenta enzimas ligninocelulíticas que le permiten crecer en gran variedad de materiales agrícolas y forestales, especialmente bajo condiciones ambientales cálidas encontraron que la especie (citada como *P. flabellatus*) es un hongo saprobio que crece en clima tropical a temperaturas óptimas entre 22 a 30 °C. Las metodologías para la producción del hongo son similares a las empleadas para otras especies comerciales del género, como *P. ostreatus* y *P. pulmonarias*, con la diferencia de que su periodo de incubación es muy corto, incluso existen datos de obtención de la primera cosecha a partir de la segunda semana de incubación, por lo que sus ciclos de cultivo son más cortos en comparación con las otras especies comerciales del género. A la fecha, una gran variedad de materiales lignocelulósicos ha sido utilizados para evaluar la productividad de la especie (salomones, 2017).

Los hongos del género *Pleurotus* están adaptados a crecer sobre una gran variedad de materiales lignocelulósicos, como las pajas de gramíneas, bagazos, residuos de la madera y de cultivos agrícolas. Estos organismos están considerados como eficientes descomponedores de la lignocelulosa, principal polímero constituyente de los materiales lignocelulósicos, debido a que tienen la capacidad de sintetizar un amplio espectro de enzimas involucradas en los procesos de biodegradación y síntesis de compuestos participantes en las diferentes procesos vitales del organismo, como son: el metabolismo respiratorio, la construcción de biomasa fúngica y cuerpos fructíferos, la producción y descarga de las esporas y los mecanismos competitivos y defensivos, entre otros (Rajarathnam et al., 1998). Además, la degradación biológica de la lignocelulosa en compuestos de menor peso molecular y mayor digestibilidad, incluso para su aprovechamiento como alimento para consumo humano (las fructificaciones) y como forraje de animales (residuos sólidos con una digestibilidad mejorada), ha convertido el proceso del cultivo de especies comestibles de hongos en una atractiva alternativa del concepto de lignificación (salomones, 2017).

Biorremediación

En la naturaleza los principales compuestos xenobióticos contaminantes del ambiente y susceptibles de eliminarse con hongos macroscópicos son: colorantes, aromáticos, hidrocarburos aromáticos, pesticidas y clorofenoles, por lo que los hongos lignocelulósicos han sido frecuentemente estudiados para determinar su capacidad de biorremediación. Diversas cepas de *Pleurotus* comerciales han sido probadas con resultados prometedores para la producción de enzimas y la degradación de compuestos recalcitrantes (salomones, 2017).

Sustratos empleados en la producción de carpóforos de *pleurotus* spp.

El sustrato es el material sobre el que se va a desarrollar el micelio aportado por el inóculo hasta su completa fructificación. En este medio especial de cultivo, el hongo en cuestión tendrá que competir selectivamente por los nutrientes con bacterias, actinomicetos y otros hongos presentes en el medio. Un sustrato es apropiado para el crecimiento de un hongo si contiene todos los requerimientos nutritivos en cantidad suficiente para que este sintetice sus metabolitos y tome de él la energía que requiere.

El carpóforo del género *Pleurotus* crece de forma natural sobre troncos caídos en descomposición y de manera artificial, sobre residuos agroindustriales. Los nutrientes que se requieren en un sustrato artificial son: celulosa, hemicelulosa y lignina quienes funcionan como fuentes principales de carbono. Los sustratos artificiales pueden ser clasificados en seis categorías.

Pajas: Ajonjolí, arroz, cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena, zacate

Rastrojos: Maíz, mijo, garbanzo, frijol

Pulpas: Café, cardamomo

Bagazos: Caña de azúcar, maguey tequilero, henequén, uva

Forestales: Aserrín, viruta, troncos, ramas

Otros: Papel, olote, hojas de piña, fibra de coco, lirio acuático, tallos de plátano, desechos de la industria textil.

Los sustratos deben tener una capacidad de retención de humedad entre el 70 y 80% para un crecimiento óptimo de los hongos. El tamaño de partícula puede afectar el crecimiento y fructificación. Ciertos estudios indican que la composición de nutrientes es un factor que limita la colonización de las setas cultivadas y que distintas especies de un mismo género pueden tener diferentes requerimientos de nutrientes. En este trabajo se utilizó paja de trigo debido a que posee material lignocelulósico (aproximadamente 90%) que es degradado y utilizado por los hongos para su crecimiento

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El presente proyecto se realizó en el laboratorio de Biotecnología 2 del Tecnológico Nacional de México, campus Úrsulo Galván, localizado en la carretera Cardel Chachalacas Km. 4.5 en Úrsulo Galván, Ver. Mpio. de Úrsulo Galván. Las coordenadas 19°24'42" latitud norte y 96°21'30" longitud oeste. Descripción Climática. De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificado por Enriqueta García (1981) en el Municipio de Úrsulo Galván predomina el clima cálido subhúmedo (Aw2) con lluvias en verano. La temperatura media anual fluctúa entre 22 y 24°C Con máximas de 35°C en los meses más calurosos y mínimas de 16°C en los meses invernales, la humedad relativa esta entre 70 y 80% y se encuentra ubicado a 8 msnm (De la fuente et al., 2004).

Materiales

Los materiales empleados en este estudio fueron: Tambo de 200 Lts, Canastilla de fierro, Anaqueles con 4 niveles, Costales de arpillera, Equipo de protección (cofia, cubre bocas, bata), 1 Quemador de gas, Cinta canela, Papel pega moscas, Equipo de limpieza (jabón, cepillo, jalador, escoba, cloro), Machetes, Bolsas de polietileno 25 * 20, Hule negro. Equipos : Básculas, Molino, Estufa de secado, Mortero, Tubo de ensayo. Materia prima : Rastrojo de maíz, Olote picado, Paja de cebada, 10 kilos de micelio de hongo *Pleurotus djamor*.

METODOLOGÍA

En el estudio se utilizó un diseño completamente al azar. Con 4 tratamientos por 25 repeticiones; se utilizaron bolsas de polietileno de 25 * 20 cm con un peso de 2 Kg de sustrato húmedo. Los tratamientos evaluados fueron : T1: Olote de maíz T2: Rastrojo de cebada T3: Paja de cebada + olote T4: Rastrojo de maíz.

Las variables evaluadas en el estudio fueron: Días a la aparición de primordios, Número de primordios, Peso de hongos, Número de Hongos no productivos y Análisis bromatológico. Para Días a la aparición de primordios Se consideró el tiempo transcurrido desde la siembra hasta la aparición de los primordios, en donde se colocaron las unidades en el área de fructificación. Este proceso se realizó en los tres cortes. Para la variable Peso de hongos, Se pesó la cosecha de cada mazacote y tratamiento; Para hongos no productivos, en esta variable se tomaron los datos de numero de primordios segunda lectura y se restaron con los datos de numero de hongos tercera lectura. Para la variable de análisis bromatológico en esta variable se tomaron los datos de los análisis bromatológicos como (pH, conductividad, humedad, ceniza, proteína %, calcio, magnesio, potasio y hierro).

Cultivo de hongo *Pleurotus djamor*

Limpieza de las áreas de incubación y fructificación

En el área de siembra se limpió con cuidado, eliminando cualquier tipo de patógeno que pueda contaminar el cultivo de hongos comestibles. En el área de incubación es una zona oscura donde van a estar los mazacotes por un periodo de 10 días para que el micelio crezca y colonice todo el mazacote. Recolección de los sustratos. se recolectaron algunos sustratos como el de olote de maíz y rastrojo de maíz en donde se recolectaron de la comunidad de Mozombo, municipio de Actopan, ver y solo se compró la paja de cebada, posteriormente se realizó el picado de los sustratos se utilizó una picadora de forraje con el fin de obtener fracciones muy pequeñas y así tener un mejor manejo sustratos, se realizó el secado de sustratos se puso el sustrato de olote de maíz al sol para que se deshidratarán para poder trabajarlos en la siembra de hongos, del pues del secado se hidrato los sustratos esta actividad que se realiza antes de llevarse a cabo la pasteurización. que consiste en sumergir el sustrato en agua en un tambo de 200 litros. Una vez que ya es colocado se deja reposar de 30 a 60 minutos. Es muy importante tener en cuenta que son diferentes sustratos es necesario cambiar el agua cada vez que se hidrata diferente material, esto con el objetivo de evitar contaminaciones y prevenir la mezcla de los sustratos, después se realiza el hervido del sustrato o residuo agrícola, para el proceso de pasteurización o hervido de sustrato depositamos con mucho cuidado el sustrato en la canastilla, una vez ya colocados, se sumergen en un tambo de 200 litros, y se deja hervir por 60 minutos; una vez transcurrido el tiempo, se saca la canastilla y se depositan en una mesa de escurrimiento para eliminar el exceso de agua y para que se enfríe el sustrato. El objetivo de la pasteurización es eliminar cualquier tipo de patógeno y así evitar contaminación de los sustratos. La siembra se realizo depositando en bolsas de plástico un poco de semilla de sorgo inoculada de hongo comestible y después se le agrega un poco de sustrato y se repite la misma acción hasta llenar la bolsa que vamos a utilizar, después del sembrado se realizó picado a cada mazacote o unidades de producción esta se realizó con la ayuda de un cuchillo desinfectado con cloro, la cantidad de orificios que se le coloco a las bolsas fueron de 10 a 12 por cada lado y en la parte superior de 4 orificios, después se llevan al área de Incubación (crecimiento del micelio en la oscuridad), en el área de incubación es una zona oscura donde van a estar los mazacotes por un periodo de 10 días para que el micelio crezca, en los primeros días de incubación la semilla del hongo empieza a invadir el sustrato, tomando un color blanquecino; una vez que ya este desarrollado se espera a que aparezcan los primordios y se colocan en el área de fructificación, se realizan riegos es para estimula la aparición de primordios, estos se realizan de dos a tres veces al día esto dependiendo de la temperatura del medio ambiente , una vez

que aparecieron los primordios se realiza la cosecha después de 3 días de crecimiento y el rendimiento del primero, segundo, tercer y cuarto corte cada mazacote se pesó. Y se llevó el registro.

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos se llevaron a cabo para la investigación de los sustratos agrícolas que se utilizaron para la evaluación de pH, conductividad, humedad, ceniza, proteína, calcio, magnesio, potasio, hierro.

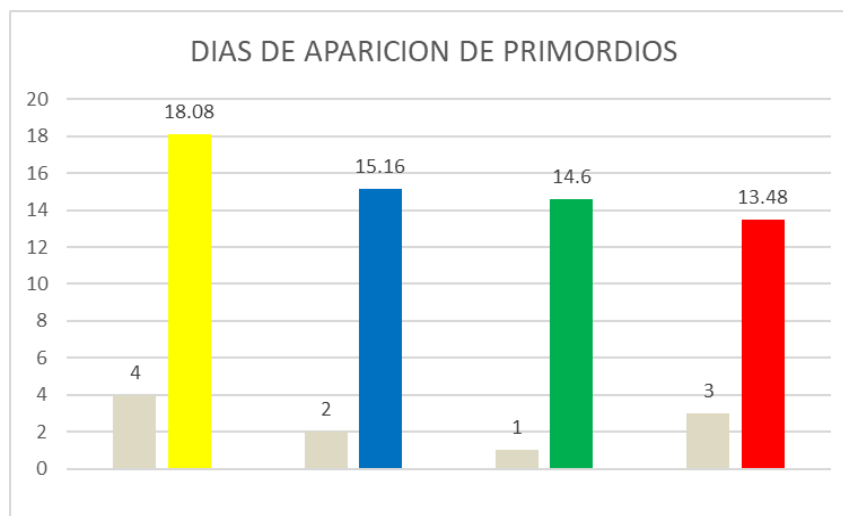
1. La muestra fue para analizar homogénea y representativa del lote del que fue extraída.
2. La muestra se calienta durante 70°C para determinar su HUMEDAD, y su complemento sería la MATERIA SECA (MS);
3. Posteriormente se incinera a 550-600°C y se obtiene, por diferencia, el porcentaje de CENIZAS;
4. Una segunda muestra igual de homogénea y representativa del mismo lote, se somete a un proceso químico de digestión, comúnmente el método Kjeldahl, para determinar el nitrógeno total en forma de amonio, es decir, la PROTEÍNA CRUDA.
5. Una tercera muestra igual de homogénea y representativa del mismo lote será sometida a una extracción de sus sustancias solubles como grasas, aceites, ceras y pigmentos, o GRASA CRUDA, mediante un disolvente orgánico, éter etílico o de petróleo;
6. Al producto de esta extracción se le somete a una digestión ácida y posteriormente una alcalina.
- 7.-Después también se evaluó el pH donde se aplicaron 25ml de agua en un vaso precipitado y 50 gr de muestra para llevar a cabo la evaluación con el potenciómetro, la misma técnica se hizo con el proceso de constituida pero aquí se utilizó una mosca para ser agitará y después se filtrar para medirlo con el potenciómetro.
- 8.-Finalmente para la evolución de calcio, magnesio, potasio, hierro se preparan 3 estándares por cada elemento, donde se llevaron para sacar la curva de calibración, de ahí todos los resultados se sacaron con diferentes métodos matemáticos.

RESULTADOS

Los análisis mediante el ANOVA para la variable Aparición de primordios se puede observar que el tratamiento 4 es el que sobre sale en un primer momento en cuanto esta variable corroborándose la prueba de comparación de media la cual indica que dicho tratamiento es superior estadísticamente (Grafica 1)

Primer corte

Fig.1 Días a la aparición de primordios (Escobar Molina 2020).



Para peso de hongos se puede apreciar que el tratamiento 1 es el que sobre sale en cuanto esta variable corroborándose la prueba de comparación de medias la cual indica que dicho tratamiento es superior estadísticamente (Grafica 2,3,4 y5).

Fig. 2 y 3 Peso de hongos primer y segundo corte (Escobar Molina 2020).

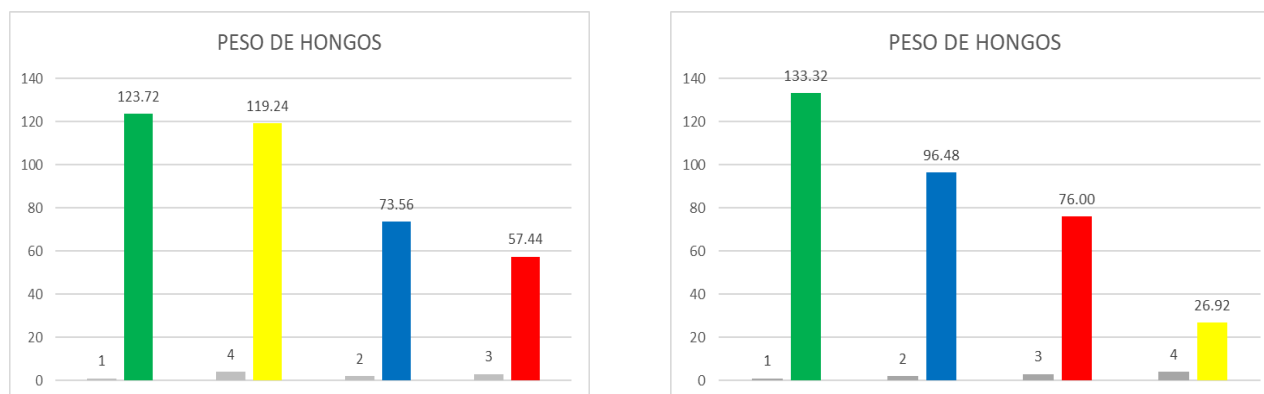
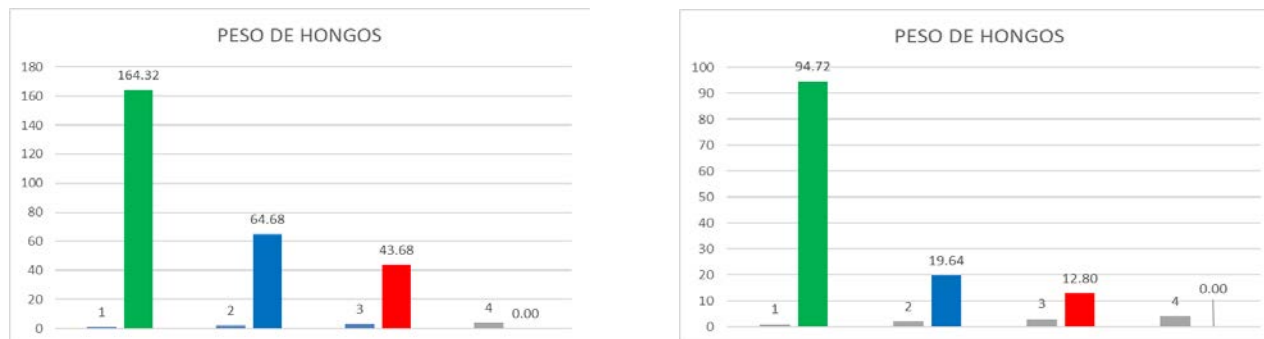


Fig. 4 y 5 Peso de hongos tercer y cuarto corte (Escobar Molina 2020).



Los análisis bromatológicos como se observan explican dichas lecturas el comportamiento del tratamiento sobresaliente el número 4 ya que se observó que la composición del sustrato como

sobresaliente fue mayor en celulosa, hemicelulosa, lignina y un pH más alcalino lo que permitió que el agente micotico tuviera una excelente eficiencia biológica.

Cuadro 1 análisis bromatológicos de *Pleurotus djamor* primer corte. (Escobar Molina 2020).

MUESTRAS	pH	CONTUTIVIDAD	HUMEDAD	CENIZA	PROTEINA %	CALCIO	MAGNECIO	POTASIO	HIERRO
R. DE MAIZ	5.6	5.68	11.8	8.33	0.54	49.995	9.744	3.192	1.399
OLOTE	5.49	5.59	9.05	5.13	0.54	10.036	6.355	5.572	0.579
CEBADA	5.43	5.55	8.2	3.3	0.54	7.569	1.053	N.D	0.847
MEZCLA	6.61	6.66	8.85	5.66	1.63	9.337	5.445	1.178	0.55

Cuadro 2 análisis bromatológicos de *Pleurotus djamor* segundo corte. (Escobar Molina 2020).

MUESTRAS	pH	CONTUTIVIDAD	HUMEDAD	CENIZA	PROTEINA %	CALCIO	MAGNECIO	POTASIO	HIERRO
R. DE MAIZ	7.09	7.08	10.65	10.63	9.25	16.389	7.849	0.196	1.414
OLOTE	5.54	5.48	9.7	3.5	8.16	5.945	4.103	3.457	1.954
CEBADA	5.22	5.38	6.55	23.33	4.35	13.702	5.51	0.464	1.994
MEZCLA	5.98	6	8.1	6	5.99	8.408	6.87	2.289	0.867

Cuadro 3 análisis bromatológicos de *Pleurotus djamor* tercer corte. (Escobar Molina 2020).

MUESTRAS	pH	CONTUTIVIDAD	HUMEDAD	CENIZA	PROTEINA %	CALCIO	MAGNECIO	POTASIO	HIERRO
R. DE MAIZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OLOTE	5.43	5.48	9.2	3.33	0.54	5.681	3.496	3.6	0.764
CEBADA	5.4	6.66	7.95	29.19	1.63	14.123	5.754	0.008	2.4
MEZCLA	6.09	6.12	7.85	11.16	2.18	8.321	4.487	N. D	1.063

Cuadro 4 análisis bromatológicos de *Pleurotus djamor* cuarto corte. (Escobar Molina 2020).

MUESTRAS	pH	CONTUTIVIDAD	HUMEDAD	CENIZA	PROTEINA %	CALCIO	MAGNECIO	POTASIO	HIERRO
R. DE MAIZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OLOTE	5.74	5.8	7.95	1.86	4.9	4.44	2.633	6.533	0.599
CEBADA	6.69	6.66	7.85	42.5	1.09	16.47	6.732	0.469	2.561
MEZCLA	6.08	6.12	8.85	10	1.63	5.508	2.041	3.574	0.594

CONCLUSIONES

Después de haber analizado los resultados en este estudio o investigación se concluye que:

De acuerdo análisis bromatológicos realizados la eficiencia biológica de *Pleurotus djamor* fue el mayor en el sustrato de maíz en el que se demostró que la degradación y mineralización de compuestos orgánicos fue mayor; alcanzando su punto máximo y óptimo en el segundo corte siguiendo el comportamiento en los siguientes cortes o sobre saliente de todos los sustratos.

La degradación y mineralización de sustratos orgánicos se realizan en todos los sustratos, pero se observó que la composición del sustrato sobre saliente fue mayor en celulosa, hemicelulosa, lignina y

un pH más alcalino lo que permitió que el agente nicótico tuviera una excelente eficiencia biológica y por lo tanto es un gran degradador primario. En los 4 tratamientos realizados de 7 variables: Los que se utilizaron en este trabajo de investigación fueron los siguientes: (T1) Olote de maíz, (T2) Rastrojo de cebada, (T3 Paja de cebada + olote), (T4 Rastrojo de maíz); por las variables : Días a la aparición de primordios, número de primordios primera lectura, número de primordios segunda lectura, número de hongos tercera lectura, Peso de hongos ,Hongos no productivos, Análisis bromatológico; donde fue necesario el uso del programa ANOVA, para la obtención de resultados precisos. Al realizar un análisis de los resultados, se comprobó que en los 4 tratamientos hubo germinación apropiada para la proliferación de vida del hongo y bajo las mismas condiciones ambientales a las que fueron sometidas cada uno de los sustratos. Sin embargo, hubo una gran diferencia del tratamiento 4 Rastrojo de Maíz con relación al resto de los tratamientos; cómo se puede observar en casi todas las variables ya que demostró mayor degradación.

Los resultados obtenidos muestran que para el cultivo de *Pleurotus djamor* es necesario utilizar un manejo eficaz en el proceso de producción que involucra la preparación del sustrato, las medidas de higiene que deben implementarse para evitar la contaminación con microorganismos no deseados que afectan la producción, las instalaciones necesarias para un óptimo rendimiento, manejando los rangos óptimos de temperatura, humedad y luz durante el desarrollo de cada etapa del proceso.

REFERENCIAS

- Alarcón acosta, p., (2021). determinación de rendimiento de *pleurotus djamor* en 4 mezclas de intergenéricas. [rinacional.tecnm.mx](https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/tecnm/3429/1/2021001tl21.pdf). disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/tecnm/3429/1/2021001tl21.pdf>
- Dulce Salmones. (2017). *Pleurotus djamor*, un hongo con potencial aplicación biotecnológica para el neotrópico. SCIELO, 1, 0.
- De la fuente, J. R., Del Val Blanco, E., Martucelli Quinata, J., Islas López, J., Narro Robles, J., & Drucker Colin, R. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Academia. <https://www.academia.edu/>
- Graciela Huerta. (2009). Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de *Pleurotus* de regiones tropicales y subtropicales de México. 11 de enero del 2021, de scielo Sitio web: <http://www.scielo.org.mx/>
- Juan Alzueta. (2018). Las setas y sus características. 15 de diciembre del 2020, de Blog de promoción de la salud Sitio web: <http://www.sspa.juntadeandalucia.es/>

- Landa Peralta, E. (2008). Aislamiento de Esteróles a partir del Hongo Comestible *Pleurotus djamo*r. *djamor* (Maestría). universidad veracruzana.
- Magdalena Paz. (2017). "Productividad y actividad antioxidante de cepas silvestres, reconstituidas e híbridas de *Pleurotus djamo*r". 2017, de UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA 88 DE LA MIXTECA Sitio web: <http://repositorio.utm.mx/bitstream/123456789/80/1/2017MCPNA-MPOG.pdf>
- Mata, G., Salmenes, D., & Savoie, J. M. (2017). las enzimas lignocelulolíticas de *pleurotus* spp. (licenciatura). I colegio de la frontera sur.
- Montalvo Macuixtle, D. L. (2016). aprovechamiento de esquilmos agrícolas para la producción de hongo comestible (*pleurotus ostreatus*) en la escuela secundaria técnica agropecuaria núm. 126 en tehuipango Veracruz. (Licenciatura). Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván.
- Silvia Bures. (2017). Manejo de sustratos. 11 de enero del 2021, de juntadeandalucia Sitio web: <http://www.juntadeandalucia.es/>
- Pérez Roldan, B. J. (2006). descripción de las características macroscópicas, de cultivo in vitro de cepas de *pleurotus* aisladas en Guatemala (químico biólogo). universidad de san Carlos de Guatemala facultad de ciencias químicas y farmacia.
- Piconell, M. R. (2017). actualizaciones sobre la preparación del sustrato para cultivar setas *pleurotus* spp. (licenciatura). colegio de la frontera sur.
- Coello paredes Jessica. (2011). aplicación de hongo *pleurotus ostreatus* como alternativa para biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. 30 de marzo del 2021, de dspace sitio web: <https://www.dspace.espol.edu.ec/>
- Manuel, aracelly, heriberto, Carlos y Ramón. (septiembre-octubre 2014). efecto de la biodegradación con cepas nativas de *pleurotus djamo*r, rn81 y rn82, sobre parámetros químicos y degradabilidad in situ de sustratos lignocelulósicos. *redaly*, xxiv, 8.
- Magdalena Paz Oropeza Guerrero. (2017). Productividad y actividad antioxidante de cepas silvestres, reconstituidas e híbridas de *Pleurotus djamo*r. 12 de abril del 2021, de jupiter Sitio web: <http://jupiter.utm.mx/> 89
- Elisa Landa Peralta. (2008). Aislamiento de Esteróles a partir del Hongo Comestible *Pleurotus djamo*r. *djamor*. 12 de abril del 2021, de cdigital Sitio web: <https://cdigital.uv.mx/>

GENERACIÓN DE EMBRIONES SOMÁTICOS A PARTIR DE EMBRIONES CIGÓTICOS DE LA ORQUÍDEA MYRMECOPHILA (*Myrmecophila tibicinis* (Bateman Ex Lindl.) Rolfe).

Daniel Utrera López¹

Juana Fabiola Jiménez Flores²

Héctor Miguel Escobar Molina³

Román Gonzales Pérez⁴

Marco Antonio Pascual Moreno⁵

RESUMEN

Se realizó la propagación *In vitro* de *Myrmecophila tibicinis* (Bateman Ex Lindl.) Rolfe con la finalidad de determinar las mejores condiciones asimbióticas para la generación de embriones somáticos a partir de embriones cigóticos. La generación de embriones somáticos se realizó en 4 medios de cultivo de uso común para la propagación *In vitro* de orquídeas: Hutner adicionado con ácido glutámico, carbón activado y sacarosa, Knudson C modificado por MS, Murashige y Skoog al 50% y Dalla Rosa y Laneri KO7 modificados con agua de coco (*Cocos nucifera*) y 20 gr de sacarosa. El análisis de medias de Tukey al 0.5% demostró que si existe significancia estadística a las variables analizadas (días de aparición de embriones somáticos / cantidad de embriones somáticos generados). Para los días de aparición de embriones somáticos en los medios de cultivo fueron el tratamiento de Dalla, Rosa y Laneri junto con el Murashige y Skoog al 50% los que presentaron generación de embriones a los 31 días después de la siembra. Para la variable de cantidad de embriones somáticos generados fue el tratamiento de Dalla, Rosa & Laneri que demostró el mayor número de embriones somáticos a lo largo de todo el periodo de estudio (valor de media = 16.780).

Palabras clave: *Myrmecophila tibicinis*, orquídeas, generación, embriones somáticos, embriones cigóticos, cultivo *In vitro*.

ABSTRACT

In vitro propagation of *Myrmecophila tibicinis* (Bateman Ex Lindl.) Rolfe was carried out in order to determine the best asymbiotic conditions for the generation of somatic embryos from zygotic embryos.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. daniel.ul@ugalvan.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

⁵ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

The generation of somatic embryos was carried out in four culture media commonly used for the in vitro propagation of orchids: Hutner supplemented with glutamic acid, activated carbon, and sucrose; Knudson C modified by MS; Murashige and Skoog at 50%; and Dalla Rosa and Laneri KO7 modified with coconut water (Cocos nucifera) and 20 g of sucrose. Tukey's 0.5% mean analysis showed that there was statistical significance for the variables analyzed (days of somatic embryo appearance/number of somatic embryos generated). For the days of somatic embryo appearance in the culture media, it was the Dalla, Rosa, and Laneri treatment together with the 50% Murashige and Skoog treatment that showed embryo generation 31 days after sowing. For the variable of number of somatic embryos generated, the Dalla, Rosa & Laneri treatment showed the highest number of somatic embryos throughout the study period (mean value = 16,780).

Keywords: *Myrmecophila tibicinis*, orchids, generation, somatic embryos, zygotic embryos, in vitro culture.

INTRODUCCIÓN

Las orquídeas son una de las familias más numerosas y diversas, se distribuyen alrededor del mundo en hábitats cálidos y húmedos, siendo los ambientes tropicales y subtropicales donde principalmente se encuentran. Comprenden alrededor del 10% de todas las especies vegetales, con más de 25,000 especies a nivel global, se posiciona como la familia más diversa del reino Plantae (Dressler, 2005). Al ser una de las familias más diversas en el reino Plantae es una de las más vulnerables debido a la destrucción considerable de su hábitat en los últimos años, por la extracción ilegal y el valor mercantil lo cual ha favorecido extensamente su comercialización en precios muy elevados (Ávila y Salgado, 2006).

Actualmente se conocen más de 1200 especies de orquídeas en toda la república mexicana (Hágsater et al., 2005) de las que 181 se incluyen en alguna categoría de riesgo en la norma oficial vigente NOM-059-ECOL-2001, 72 son endémicas, 58 en la categoría de amenazadas, 107 que requieren protección especial, 15 en peligro de extinción y una especie extinta en la naturaleza (*Laelia gouldiana*) (Diario Oficial de la Federación, 2002).

Se considera que actualmente tiene una relevancia enorme el tomar acciones que conlleven a un manejo autosustentable de la orquideoflora mexicana, entre las cuales se debe de establecer sistemas de micropropagación para lograr la reproducción de orquídeas en escalas masivas a partir del tejido vegetal y semillas y así desarrollarlas en grandes invernaderos. Con esta actividad en marcha, se puede mantener una producción continua de ejemplares de calidad para reducir en cierto grado el saqueo y extracción ilegal de especies en sus entornos naturales. (Ávila y Salgado, 2006).

En el presente trabajo se emplearon 4 medios de cultivo de uso común con el objetivo de conocer al medio de cultivo *in vitro* que muestre las mejores condiciones asimbióticas para la generación de embriones somáticos de *Myrmecophila tibicinis*. Asimismo, observar también el número de embriones generados.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de biotecnología vegetal 1, localizado dentro de las instalaciones de Tecnológico Nacional de México campus Úrsulo Galván, el cual se encuentra ubicado en las coordenadas 19°24'41" N, 96°21'30" W a 15 metros sobre el nivel del mar (Google Earth, 2024).

El diseño experimental empleado fue completamente al azar con 4 Tratamientos y 50 repeticiones por cada uno; Se lavaron frascos de vidrio de 100 ml con agua, detergente líquido y cloro, se secaron y se metieron a esterilizar dentro de la estufa de secado a una temperatura de 120°C durante 24 horas. Los medios de cultivo se prepararon en un matraz Erlenmeyer de 1 litro en parrilla de calentamiento con agitación magnética, con un vaso de precipitado se añadieron los reactivos correspondientes de cada medio de cultivo. Se midió y se regulo el pH con ayuda del potenciómetro para cada tratamiento en estudio, (Cuadro 1). Se añadió agar bacteriológico, se calentó el medio hasta que se clarifico, se retiró de la parrilla eléctrica, se vació el medio de cultivo (20 ml), en los frascos con ayuda de un vaso de precipitado de 80 ml y se les coloco una tapa de aluminio sujetada con una liga. Se realizó la siembra *In vitro* de embriones cigóticos de la orquídea *Myrmecophila tibicinis*, los cuales con una edad de 4 meses.

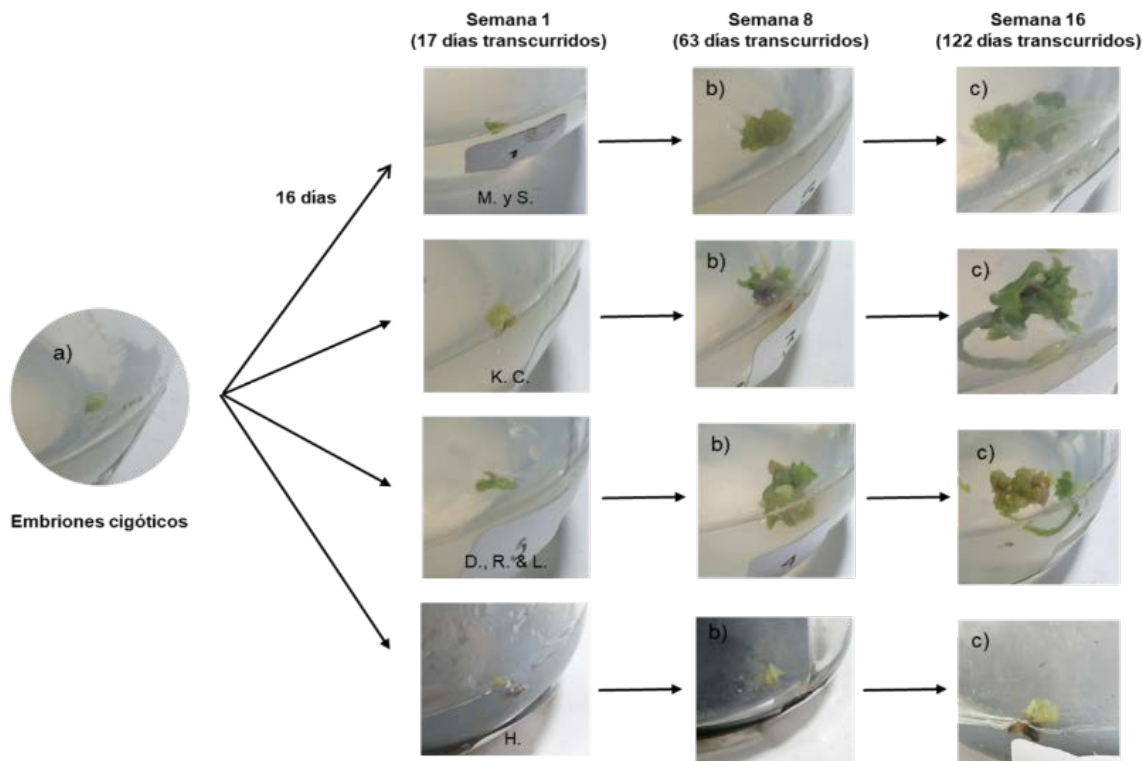
Cuadro 1. Componentes para elaborar los 4 medios de cultivo para la generación de los embriones somáticos a partir de los embriones cigóticos de *Myrmecophila tibicinis*. (Pascual, 2024).

Componentes (mg/L ⁻¹)	Murashige y Skoog al 50%	Knudson c modificado por MS	Dalla Rosa y Laneri KO7	Hutner
Agua destilada	500 ml	500 ml	500 ml	500 ml
Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	166.1 mg	1000 mg	1000 mg	35.4 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	185 mg	250 mg	250 mg	50 mg
KH ₂ PO ₄	85 mg	250 mg	250 mg	40 mg
NH ₄ NO ₃	825 mg	500 mg	500 mg	20 mg
MnSO ₄ ·4H ₂ O	11.15 mg	22.3 mg	7.5 mg	2.03 mg
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	4.3 mg	8.6 mg	-	6.598 mg
H ₃ BO ₃	3.1 mg	6.2 mg	-	5.720 mg
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.0125 mg	0.0025 mg	-	0.393 mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.125 mg	0.25 mg	-	2.522 mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.0125 mg	0.025 mg	-	0.162 mg
FeSO ₄ ·7H ₂ O	13.9 mg	27.85 mg	27.85 mg	2.489 mg
KI	4.15 mg	0.83 mg	-	-
KNO ₃	950 mg	-	-	-

Na ₂ EDTA·2H ₂ O	18.6 mg	37.27 mg	37.25 mg	-
Tiamina	0.4 mg	-	-	-
Carbón activado	-	-	-	2 mg
Agua de <i>Cocos nucifera</i>	100 ml	100 ml	150 ml	-
Acido glutámico	-	-	-	4 gr
Sacarosa	20 gr	20 gr	20 gr	20 gr
Aforar	1000 ml	1000 ml	1000 ml	1000 ml
pH	5.60	5.10	5.50	5.60
Agar bacteriológico	4 gr	17.5 gr	8 gr	15 gr
Calentar	300°C	300°C	300°C	300°C
Verter en frascos	20 ml	20 ml	20 ml	20 ml

La siembra *In vitro* se hizo en condiciones asépticas en la campana de flujo laminar utilizando pinzas y papel aluminio previamente esterilizados. En el papel aluminio se colocaron los embriones cigóticos de *Myrmecophila tibicinis* y con las pinzas esterilizadas se tomaron cinco embriones cigóticos y se colocaron en 5 puntos equidistantes dentro de los frascos con medio de cultivo en campana de flujo laminar y mechero de alcohol., Se sellaron, rotularon y etiquetaron para posteriormente observar su crecimiento y desarrollo. Las variables de estudio (I) Días de aparición de embriones somáticos y (II) Cantidad de embriones somáticos generados. Después de la siembra *In vitro*, se estuvo observando el crecimiento de los embriones cigóticos (cambios de coloración, estructura, tamaño), hasta que formaron los callos celulares que originaron embriones somáticos (Figura 1).

Figura 1. Véase los embriones cigóticos de *Myrmecophila tibicinis* (a) en los 4 diferentes medios de cultivo evaluados hasta que se generan y multiplican los embriones somáticos (b) y su posterior crecimiento y desarrollo a través de las semanas transcurridas (c) (Pascual, 2024).



Cuadro 2: Tabla que se empleó para la toma de datos. (Pascual, 2024).

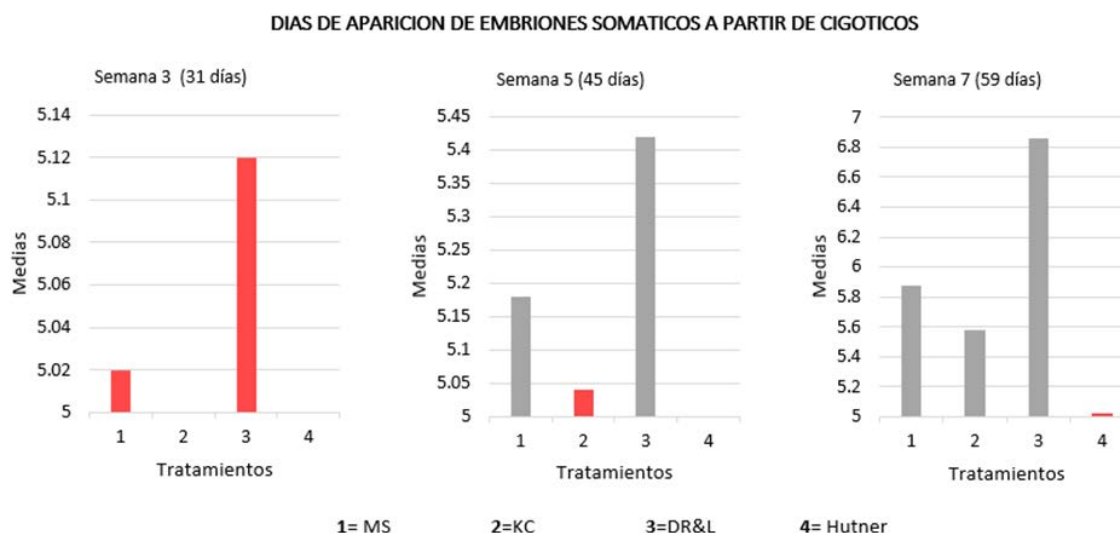
[illegible]

135

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para la variable I, en base a los resultados derivados del análisis estadístico en el software SAS versión 10.6, y las pruebas de Tukey con 0.5% de confianza se obtuvo que el tratamiento 3 Dalla Rosa & Laneri suplementado con agua de *Cocos nucifera* y sacarosa en la cuarta semana (31 días después de la siembra) fue el primer medio de cultivo en presentar mayor significancia estadística referente a la aparición de embriones somáticos (Figura 2), en comparativa con los tratamientos 1 de Murashige y Skoog al 50%, 2 de Knudson C y 4 de Hutner los cuales mostraron aparición de embriones somáticos hasta las semanas 5 (45 días después de la siembra) y 7 (59 días después de la siembra) respectivamente. Los resultados fueron similares a los reportados por Bertolini et al., en el 2014, quienes obtuvieron que, a los 31 días en el medio Dalla, Rosa & Laneri se produjeron el mayor número de protocormos de *Rossioglossum grande* con presencia de rizoides y primordios foliares, esto debido a la presencia de quelato de hierro y agua de coco.

Figura 2. Graficas de los resultados de la prueba de Tukey al 0.5% de confianza para conocer el medio que demostró mayor significancia estadística en la aparición de embriones somáticos (días) de *M. tibicinis*. (Pascual, 2024).

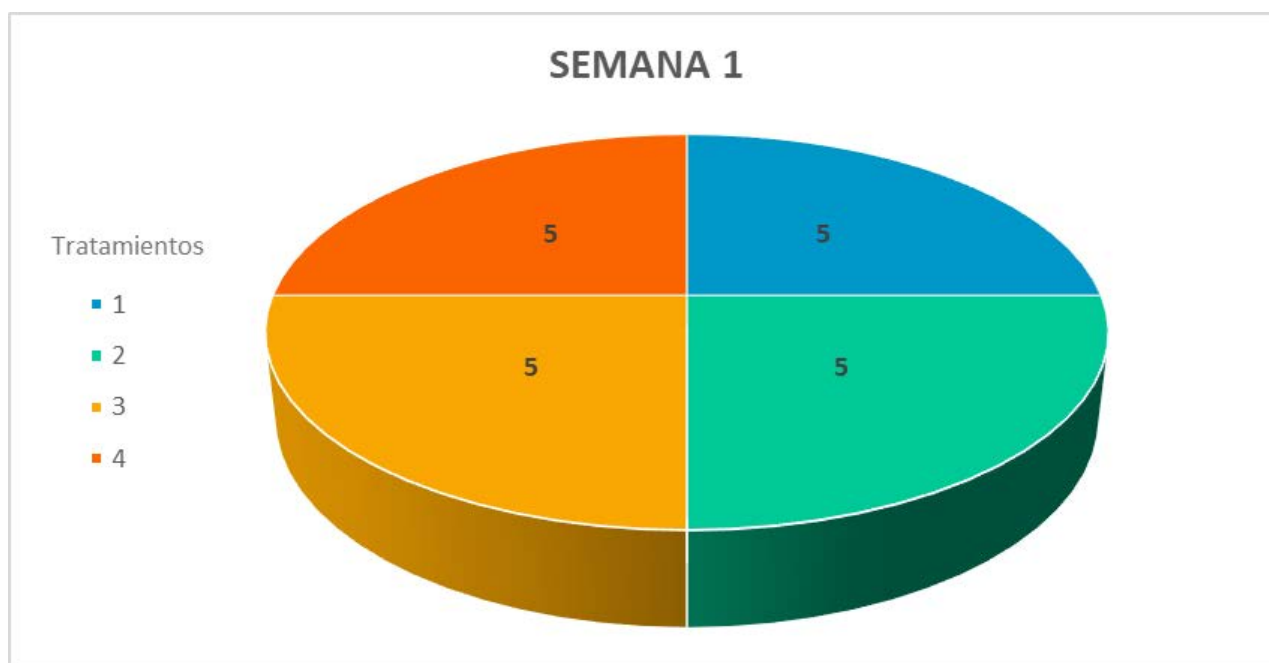


Para la variable II, se eligieron las semanas más representativas dentro del periodo de estudio (1, 8 y 16).

La primera toma de datos se dejó pasar un lapso de 16 días para observar si el embrión cigótico se adaptaba a las condiciones asimbióticas de cada uno de los medios de cultivo empleados. Después de realizar el análisis ANOVA en el software SAS versión 10.6 y obtener los resultados de las pruebas de Tukey con 0.5% de confianza se encontró que para la semana 1 (16 días después de la siembra) los tratamientos 1 (Murashige y Skoog al 50%), 2 (Knudson C), 3 (Dalla Rosa & Laneri) y 4 (Hutner) no tienen significancia estadística (diferencia significativa mínima igual a 0), esto significa que no existió generación o presencia de embriones somáticos en ninguno de los tratamientos (Figura 3). Los

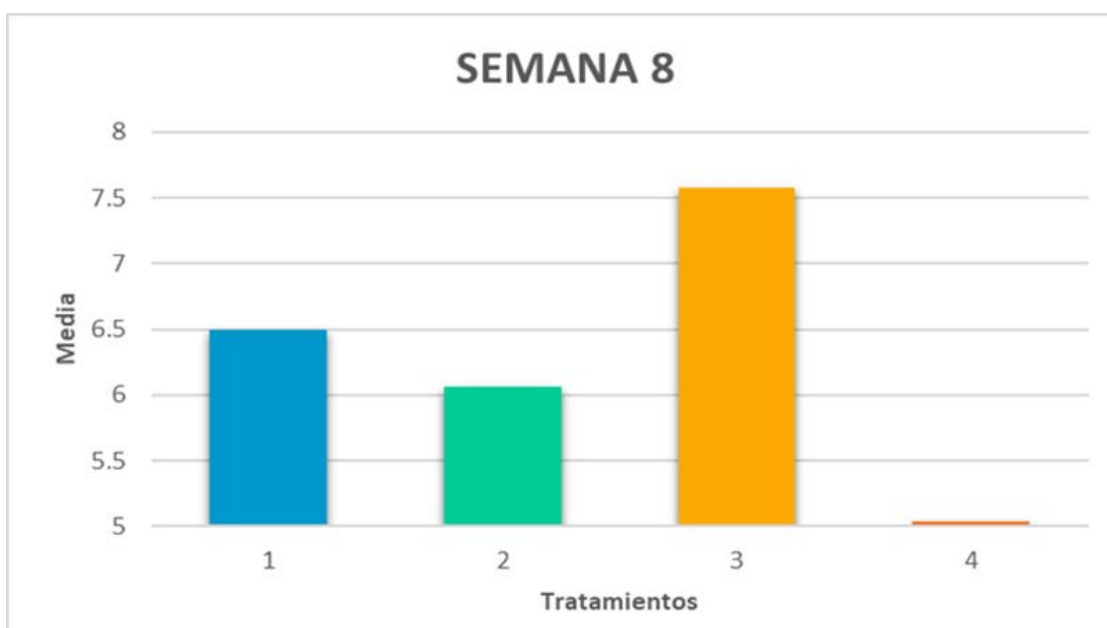
resultados fueron similares a los reportados por Ruiz et al., en el 2008, quienes emplearon los medios MS y DRL para germinar semillas de *E. adenocaula*, obteniendo que los días a inicio de germinación de las semillas fueron estadísticamente iguales ($p>0,05$). No obstante, Ruiz, A., en el 2020, menciona en sus resultados que, a los 18 días en los tratamientos MS al 50% y KC se observaron embriones de *Sobralia macrantha* Lindl. hinchados y con ligeras tonalidades verdes, para que días después en la misma semana se generaran protocormos ovoides.

Figura 3. Resultados de la prueba de Tukey al 0.5% de confianza, véase que todos los tratamientos poseen el mismo valor de media, esto nos indica que ningún tratamiento presentó indicios o presencia de generación de embriones somáticos de *Myrmecophila tibicinis*. (Pascual, 2024).



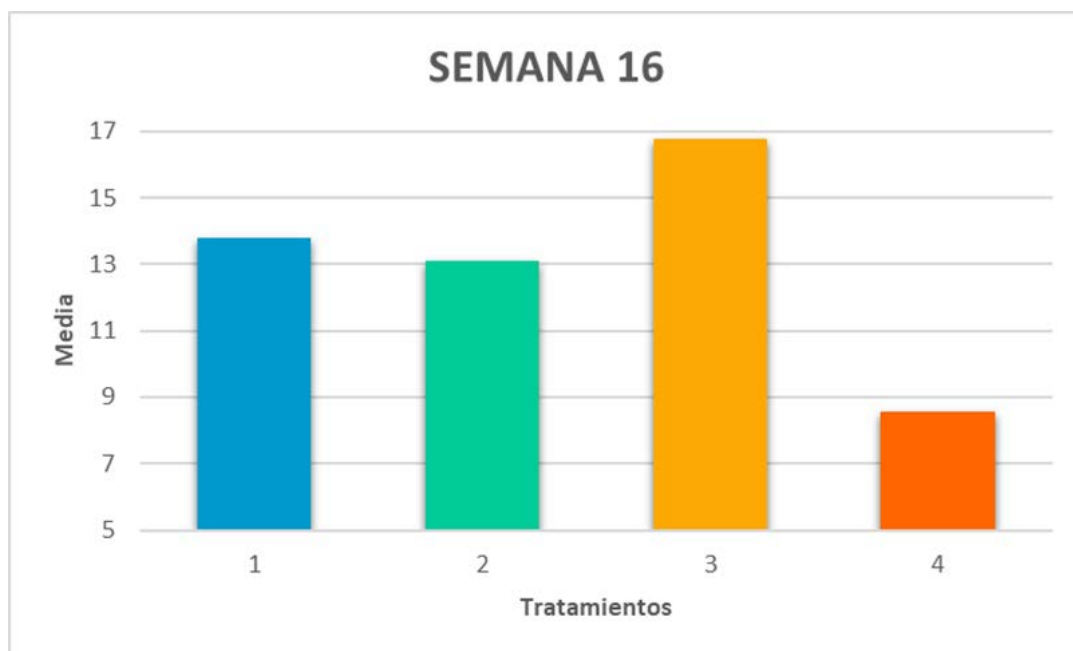
Para la semana 8 (66 días después de la siembra), en base al ANOVA y los resultados lanzados por la prueba de Tukey con 0.5% de confianza se obtuvo que el tratamiento 3 (Dalla Rosa & Laneri suplementado con agua de cocos nucifera y sacarosa) demostró significancia estadística en comparativa con los tratamientos 1, 2 y 4 (Figura 3). Esto nos indica que para la semana 8, el medio con mayor número de embriones hasta el momento fue el tratamiento 3. Sin embargo, Pérez y Castañeda, en el 2016, obtuvieron que, para la octava semana de investigación, en ninguno de los medios empleados (MS y MS al 50%) encontraron diferencias estadísticas significativas de germinación en las semillas de las orquídeas en estudio. Duarte, I. en el 2014, indicó en sus resultados que para la mitad del periodo de estudio (49 días), el tratamiento KC fue el tratamiento que menor número de embriones poseía, mientras que el medio MS al 50% estaba por debajo del tratamiento KS el cual poseía mayor número de embriones hasta el momento.

Figura 4. Resultados de la prueba de Tukey al 0.5% de confianza de la semana 8, el tratamiento con mayor número de embriones somáticos generados de *M. tibicinis* es el 3. (Pascual, 2024).



En base a los resultados del ANOVA y los resultados de la prueba de Tukey con 0.5% de confianza se obtuvo que para la semana 16 fue el tratamiento 3, Dalla Rosa y Laneri suplementado con agua de *cocos nucifera* y sacarosa fue el medio que mayor número de embriones somáticos de *Myrmecophila tibicinis* (16.780), en el periodo de estudio en comparativa con los tratamientos 1 de Murashige y Skoog al 50% y 2 Knudson C ambos con números muy similares entre ellos y el medio 4, Hutner suplementado con carbón activado, ácido glutámico y sacarosa fue el que presentó el menor número de embriones somáticos de *M. tibicinis*. Los resultados fueron similares a los obtenidos por Bertolini, et al., en el 2014, quienes obtuvieron que el medio Dalla Rosa y Laneri presentó las mejores condiciones asimbióticas para la generación de protocormos. Sin embargo, Ruiz, et al, en el 2008 indica que el medio de cultivo de Dalla Rosa y Laneri, aunque obtuvo resultados positivos, no es el mejor medio para propagar semillas, pero se obtuvieron resultados similares con el medio de cultivo de Murashige y Skoog al ser el segundo medio con mejores características para propagación in vitro. Algo similar reportó con Damon, et al., en el 2004, quienes indicaron en sus resultados que los medios Hutner, Knudson C modificado y Dalla, Rosa & Laneri, no mostraron significancia estadística en sus valores de germinación de semillas, obtuvieron resultados similares para todos los casos, en contraste, el medio Hutner les dio resultados positivos para la formación de embriones en las primeras semanas de estudio.

Figura 5. Resultados de la prueba de Tukey al 0.5% de confianza de la semana final, el tratamiento que continuó demostrando el mayor número de embriones somáticos generados es el 3.



CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, se concluye que el medio Dalla, Rosa & Laneri demostró tener las mejores condiciones asimbióticas para la aparición de embriones somáticos de la orquídea *Myrmecophila tibicinis* ya que fue a los 31 días después de la siembra.

El mayor número de embriones somáticos generados sobre el medio de cultivo *in vitro* Dalla Rosa y Laneri se debe a la presencia de agua de coco, ya que promueve e induce a una mayor generación de protocormos, pues el endospermo líquido de la semilla de coco contiene vitaminas, enzimas, azúcares, fuentes nitrogenadas, reguladores de crecimiento y una fracción de sales inorgánicas.

El medio de cultivo Dalla Rosa y Laneri es propio para la generación de embriones somáticos de la orquídea *Myrmecophila tibicinis* ya que en las semanas elegidas para el estudio de crecimiento (número de embriones) fue el tratamiento que mayor número de embriones somáticos presentó.

Los medios de cultivo MS al 50% y KC, aunque no tuvieron la mayor cantidad de embriones somáticos, también son viables para la generación de embriones ya que tuvieron resultados positivos.

REFERENCIAS

- Ávila D. I. y Salgado-Garciglia, R. (2006). Propagación y mantenimiento *In vitro* de orquídeas mexicanas, para colaborar en su conservación. *BIOLÓGICAS*. 8 :138-149.
- Bertolini, V., Damon, A. y Rojas, A. (2014). Quelato de hierro y agua de coco en la germinación *in vitro* de *Rossioglossum grande* (Orchidaceae). *Acta agronomica*. 63 (3): 229-237.

- Damon, A., Aguilar, E., Rivera, L. y Nikolaeva, V. (2004). Germinación *In vitro* de semillas inmaduras de tres especies de orquídeas de la región del Soconusco, Chiapas, México. Revista Chapingo Serie Horticultura. 10 (2): 195-203.
- Diario Oficial De La Federación. (2002). Norma Oficial Mexicana. NOM059-ECOL-2001. Segunda Sección, Anexo narrativo II. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: 95-190.
- Dressler, R. (2005). How many orchids species? Selbyana. 26 (1-2):155-158.
- Duarte, I. (2014). GERMINACIÓN *IN VITRO* DE *Barkeria uniflora* LEX. DRESSLER & HALBINGER, UNA ORQUÍDEA ENDÉMICA DE MÉXICO. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional – Facultad de estudios superiores Zaragoza. UNAM; México. (En español).
- Google Earth. (2024). Mapa local del área de estudio, ITUG. Recuperado de: <https://earth.google.com/web/@19.41199361,-96.3591199,15.42527229a,484.71628756d,35y,-0h,0t,0r> Acceso: Febrero, 2024.
- Hágsater, E., Soto-Arenas, M. Á., Salazar, Ch. G. A., Jiménez, M. R., López, R. M. A. y Dressler, R. L. (2005). Las Orquídeas de México. Instituto Chinoín, México, D. F.
- Mora, Y. (2021). MORFOGENESIS *in vitro* DE *Prosthechea vitellina* (Lindley). W. E. Higgins. [Tesis de maestría, Colegio de postgraduados]. Repositorio institucional – Campus Montecillo, CP; Montecillo, Texcoco, Estado de México. (En español).
- Pérez-Martínez, B. y Castañeda-Garzón, S. (2016). Propagación *in vitro* de orquídeas nativas como una contribución para la conservación *ex situ*. Biotecnología Vegetal. 16 (3): 143 – 151.
- Ruiz, A. 2020. Germinación asimbiótica *In vitro* de *Sobralia macrantha* Lindl. Una orquídea terrestre nativa de México. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio institucional – Unidad de investigación en biología vegetal, UNAM; México. (En español).
- Ruiz, B., Iglesias, A., Damon, A., Marín, H., Azpíroz, R. y Moreno, M. (2008). Germinación *In vitro* de semillas de *Encyclia adenocaula* (La Llave & Lex.) Schltr (Orchidaceae). ΦYTON. 77: 203-215
- SAS. (2020). Statistical Analysis System. SAS.

EVALUACIÓN DE LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE *Tithonia diversifolia* MEDIANTE SU REPRODUCCIÓN POR ESQUEJES

Karla Valeria Martínez Morales¹

Jesús Herrera Alarcón²

Ignacio Garay Peralta³

Manuel Villarruel Fuentes⁴

RESUMEN

El Botón de Oro (*Tithonia diversifolia*) es una planta forrajera de alto valor nutricional utilizada en la alimentación de rumiantes. Su propagación puede realizarse mediante semillas o varetas, siendo esta última una alternativa eficiente en condiciones tropicales. El objetivo del trabajo fue comparar la germinación y establecimiento de varetas de Botón de oro sometidas a un enraizador orgánico y uno sintético para mejorar su propagación vegetativa. En el estudio se consideraron dos tratamientos de enraizadores y un testigo, utilizando un diseño experimental de Bloques completamente al azar con tres repeticiones, estimando diferentes variables: tasa de germinación, número de rebrotes (hojas), altura de plántulas y sobrevivencia. Los tratamientos consistieron en el uso de enraizadores químico (raizal), agua con canela y uno solo con agua. La evaluación se desarrolló durante 8 semanas. Los datos fueron organizados en una hoja de Excel 2013, posteriormente fueron analizados en el programa estadístico software Statistical Analysis System (SAS). Existe una significancia similar en la comparación de los dos tipos de enraizadores en cuanto al número de brotes, altura y sobrevivencia.

Palabras clave: sobrevivencia, enraizadores, propagación vegetativa, varetas.

ABSTRACT

Buttercup (*Tithonia diversifolia*) is a forage plant with high nutritional value used in ruminant feed. It can be propagated by seed or by sticks, the latter being an efficient alternative in tropical conditions. The objective of this study was to compare the germination and establishment of buttercup sticks subjected to an organic and a synthetic root stimulant to improve vegetative propagation. The study considered two root stimulant treatments and a control, using a completely randomized block design with three replicates, estimating several variables: germination rate, number of sprouts (leaves), seedling height, and survival. Treatments consisted of chemical root stimulants (root stimulant), cinnamon-infused

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. karlamormar04@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. jesus.ha@ugalvan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Ignacio.gp@ugalvan.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. manuel.vf@ugalvan.tecnm.mx

water, and water alone. The evaluation was conducted over an eight-week period. The data were organized in an Excel 2013 spreadsheet and subsequently analyzed using the Statistical Analysis System (SAS) software. There is a similar significance in comparing the two types of rooters in terms of shoot number, height, and survival.

Keywords: survival, rooters, vegetative propagation, rods.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción bovina tropical, la principal problemática radica en la marcada estacionalidad de la oferta de forrajes. Durante la época de lluvias, el crecimiento de pastos y leguminosas es abundante, lo que permite una adecuada alimentación del ganado. Sin embargo, en la época seca, la reducción de precipitaciones y el agotamiento de las reservas de humedad en el suelo provocan una disminución significativa en la disponibilidad y calidad de los forrajes. Esto genera deficiencias nutricionales que afectan el desarrollo, la reproducción y la producción bovina, obligando a los productores a buscar alternativas como el uso de suplementos o la compra de insumos costosos, incrementando los costos de producción.

Las especies arbustivas forrajeras, representan una fuente importante de alimentación, debido a que producen altas cantidades de material vegetativo, así mismo en las regiones tropicales existe una gran cantidad de estas especies que presentan altos contenidos de proteína y de rápido crecimiento. Según Cerdas (2018), para que un árbol o arbusto sea considerado como forrajero debe ser consumido y mejorar la productividad en los animales que lo utilizan, tolerante a la poda continua y producir una gran cantidad de biomasa área.

El problema central de la alimentación animal en la ganadería bovina tropical es la insuficiente disponibilidad de forrajes de calidad durante todo el año, especialmente en la época seca. Esta situación impacta negativamente en la eficiencia productiva y reproductiva del ganado, así como en la rentabilidad del sistema ganadero. La búsqueda de soluciones integrales, como el establecimiento de bancos de forrajes, el uso de leguminosas tropicales y la mejora en la gestión de praderas, es crucial para reducir la dependencia de insumos externos y aumentar la resiliencia del sistema de producción bovina frente a las fluctuaciones climáticas.

Dentro de las especies para diversificar la dieta de los bovinos se encuentra el Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), debido a su contenido nutricional y características agronómicas. El Botón de oro es una planta perenne, originaria del sur de México y centro América desde donde se ha extendido a diferentes partes de mundo, se caracteriza por su alto grado de plasticidad ecológica, encontrándose desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm, con precipitaciones anuales entre 800 a 5000 mm y en

diferentes tipos de suelo; tolera condiciones de acidez, de baja fertilidad y crece espontáneamente a orillas de caminos, ríos y carreteras, reconocida por su alto valor nutricional y capacidad para crecer en suelos marginales (Calle Z, Murgueitio E, 2008). Su composición química incluye proteínas (18-25%), fibra digestible y metabolitos secundarios como flavonoides y taninos (Mauricio et al., 2019). Su potencial forrajero está ligado directamente a su tolerancia a la poda y a su capacidad de rebrote, efecto que permite obtener gran cantidad de biomasa por unidad de área (Lugo, et al., 2012).

La propagación de esta planta se puede realizar a través de semilla sexual y semilla vegetativa. La sección del tallo que se utilice para la propagación cuándo se establezca el cultivo a través de material vegetativo y la forma en que se ubique este en el suelo tiene una repercusión directa sobre la velocidad de crecimiento y la producción de biomasa. La reproducción por estacas o esquejes permite una rápida obtención de material para la siembra de características uniformes, que pueden provenir de una misma planta, haciendo su multiplicación más pronto, para ello se hace uso de sustancias que favorecen la estimulación del proceso de enraizamiento, favoreciendo el desarrollo de raíces adventicias (Giraldo C. et al., 2009). De acuerdo con Benavides et al. (2023), el desarrollo de raíces es importante para absorber minerales, nutrientes y fijar la planta, así mismo las hormonas producidas de forma natural o sintética favorecen un mejor desarrollo vegetativo, contribuyendo a la proliferación y formación de un sistema radicular que permita el crecimiento y desarrollo de la planta. Para algunos autores (Jamal Uddin et al., 2020) el uso de enraizadores sintéticos es efectivo, pero caro, por lo que sugieren el uso de sustancias naturales.

A pesar de su valor nutricional y potencial de adaptación agroecológica, el Botón de oro presenta dificultades en su propagación por estacas, derivadas de una baja capacidad de enraizamiento, lo que limita su establecimiento a gran escala (Solarte, L, 2013). Existen pocos estudios experimentales que evalúen de forma comparativa la efectividad de enraizadores químicos y naturales sobre el desarrollo radicular de esta especie. La falta de protocolos de propagación eficientes impide su aprovechamiento pleno en sistemas agropecuarios tropicales. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación consiste en comparar dos enraizadores, uno alternativo (natural) con un comercial, que contribuyan a generar un buen crecimiento de esquejes del Botón de oro bajo condiciones de vivero.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de México, Campus Úrsulo Galván, El área experimental se localiza en las coordenadas geográficas 19°24', 49"N, 93° 21' 05" de latitud norte y los meridianos 93° 21' 05" la longitud oeste, dentro de un vivero.

El experimento se realizó mediante un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres tratamientos y tres repeticiones: T1-extracto de canela, T2-raizal, T3-testigo. Se usaron 150 esquejes por tratamiento y cada uno se constituye como una unidad experimental, para un total de 450 unidades de esquejes que se colocaron en un área aproximada de 12 m², en bolsas negras rellenas con sustrato o tierra negra.

Descripción de los tratamientos

Se evaluaron tres tratamientos conformados por extracto de canela, raizal y testigo (agua):

T1: *Cinnamomum verum*: Se utilizaron 150 g de canela diluida en cinco litros de agua, se dejó en reposo durante 24 horas, pasado el tiempo, se procedió a filtrar y se sumergieron los esquejes durante tres minutos antes de sembrarlos en bolsas de vivero.

T2: Raizal (Nitrógeno (9%), Fósforo (45%), Potasio (11%), y en menor cantidad, Magnesio y Azufre, además de un complejo auxínico o fitohormonas (400 ppm). Las varetas estuvieron 24 horas en remojo.

T3: Sin solución enraizadora (testigo absoluto): Se procedió a sumergir los esquejes en agua durante tres min, antes de plantarse en bolsas de vivero conteniendo sustrato.

Cada tratamiento fue aplicado a 150 esquejes de Botón de oro, se utilizaron bolsas de 8 x 12 pulgadas, conteniendo sustrato compuesto por suelo del área circundante. Para la distribución de los bloques se realizó azarización. Posteriormente se sumergieron las partes inferiores de los esquejes en los enraizantes durante tiempos variables y se procedió a sembrar. Los datos fueron registrados desde los 14 días y hasta los 56 días después de la siembra de los esquejes.

Variables evaluadas

Las variables fueron tomadas cada 14 días, después de la siembra de los esquejes, durante 8 semanas, tomando muestras en cada una de las parcelas de estudio. Las variables evaluadas en el experimento fueron: tasa de germinación, numero de rebrotes (hojas), numero de ramas, altura de plántulas y supervivencia.

Número de rebrotes (NR): Se enumeraron los rebrotes por cada esqueje a los 14, 28 y 42 días después de la siembra.

Tasa de germinación: número de esquejes que presentaron rebrotes durante los 14, 28 y 42 días.

Número de ramas: realizando un conteo de ramas por vareta durante los días 28, 42 y 56 días post siembra.

Altura de plántulas: se midieron las plantas a partir de donde terminaba la vareta hasta la punta de la rama más alta, durante los días 28, 42 y 56 días post siembra

Porcentaje de sobrevivencia (%S): Se evaluó a los 60 días del establecimiento en bolsas de vivero. La variable fue evaluada para cada uno de los tratamientos utilizando el conteo de esquejes vivos y muertos, durante el ensayo se tomó como referencia para el cálculo la ecuación y categoría de sobrevivencia, propuesta por Saavedra Miranda y Gutiérrez Gonzáles (2014). $\%S = n2/n1 * (100)$

donde:

o %S: Tasa de sobrevivencia

o n1: Esquejes iniciales

o n2: Esquejes vivos encontrados al final del ensayo

Esta variable se tomó al final del experimento, día 56 post siembra.

Cuadro 1. Categoría de sobrevivencia, expresada en porcentajes

Categoría	Tasa de sobrevivencia
Excelente	90-100 %
Bueno	75-90 %
Regular	60-75 %

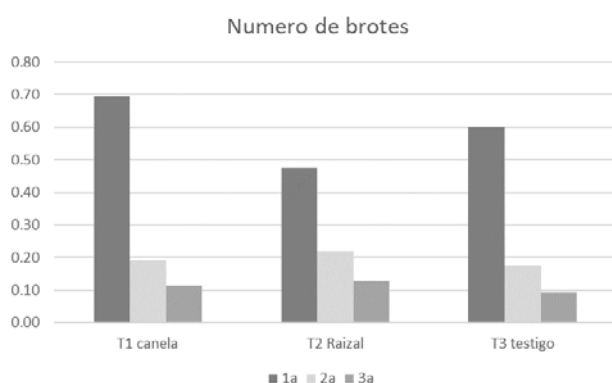
Análisis de datos

Los datos fueron organizados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2013®. Posteriormente, las variables número de rebrotes, tasa de sobrevivencia, altura y numero de ramas fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANDEVA) como un diseño de bloques completamente al azar (DCA).

RESULTADOS

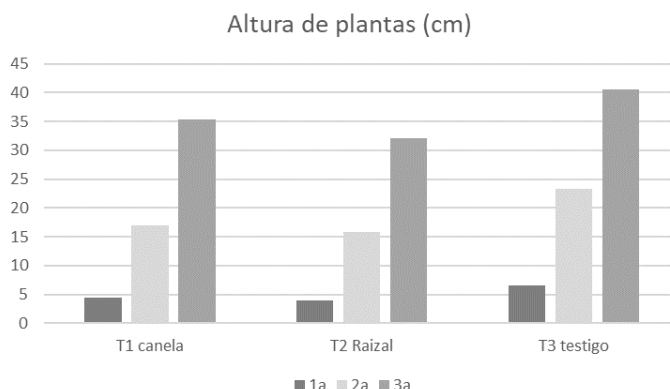
Con respecto a la variable número de brotes por planta no hubo diferencias estadísticas entre el tratamiento de canela y el raizal, sin embargo, si existió con respecto al testigo quien presento un menor desarrollo en el número de brotes (Fig. 1).

Fig. 1. Efecto del uso de enraizadores sobre el número de brotes de *Tithonia diversifolia* a los 14, 28 y 42 días.



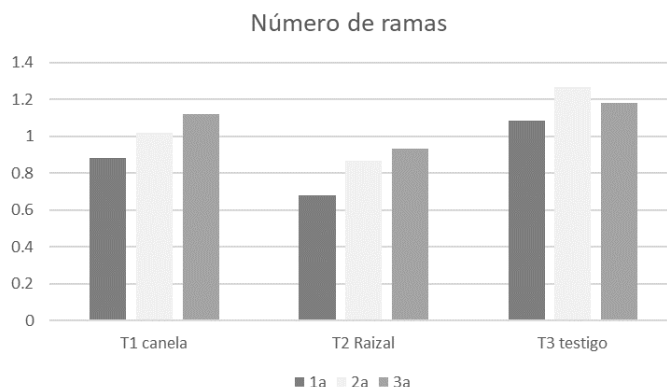
Para la variable altura de planta tampoco existieron diferencias estadísticas entre el tratamiento de canela y el raizal, pero si existió con respecto al testigo, quien presento el mayor crecimiento a través del tiempo, reflejado en las mediciones del día 28, 42 y 56 post siembra de los esquejes (Fig. 2).

Fig. 2. Efecto de soluciones enraizadoras en relación a la altura de *Tithonia diversifolia* a los 14, 28 y 42 días.



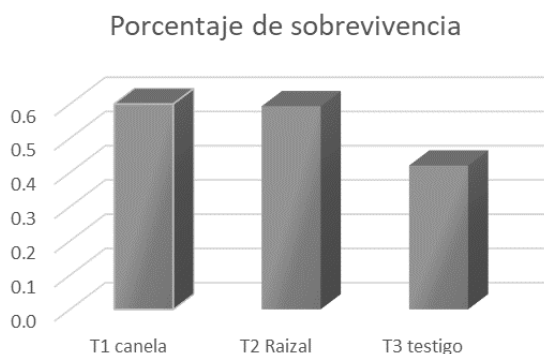
En la variable número de ramas existió diferencia estadística entre el tratamiento 1 canela y tratamiento 2 Raizal, sin embargo no hay diferencias entre el tratamiento 2 raizal y el testigo, a pesar de que este último mostró el mayor número de ramas por planta (Fig. 3).

Fig. 3. Efecto de soluciones enraizadoras sobre el número de ramas de *Tithonia diversifolia* a los 14, 28 y 42 días.



El tratamiento de canela presento las medias con mayores valores en % de sobrevivencia (60%), sin embargo, no mostró diferencias significativas con respecto a T2 con Raizal y el testigo (Fig. 3), por lo tanto, se consideró que los tratamientos usando canela y raizal son buenos, toda vez que alcanzaron el 60% en la sobrevivencia.

Fig. 4. Efecto del uso de enraizadores sobre el porcentaje de sobrevivencia de *Tithonia diversifolia* a los 60 días post siembra.



CONCLUSIONES

Existe una significancia similar en la comparación de los dos tipos de enraizadores en cuanto al número de brotes, altura y sobrevivencia.

La aplicación de enraizadores en la propagación vegetativa de Botón de oro tuvo un resultado de bajo impacto respecto a los parámetros de evaluación.

REFERENCIAS

- Benavides, C., Rugama, J., Sánchez, I., Lanuza, E., Jiménez, M. 2023. Evaluación de enraizadores alternativos sobre el crecimiento radicular de esquejes de flor de avispa (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) bajo condiciones de vivero. Revista Siembra. Universidad central de Ecuador.
- Calle Z, Murgueitio E. El Botón de Oro: Arbusto de Gran Utilidad Para Sistemas Ganaderos de Tierra Caliente y de Montaña. Revista Carta Fedegán. 2008; 108:54–63. <http://www.fedegan.org.co/carta-fedegan-108- alimentación-y-productividad>.
- Cerdas Ramírez Roberto. 2018. Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. Vol 19. Inter Sedes Revista Electrónica de las Sedes Regionales, Universidad de Costa Rica, América Central.
- Giraldo, L., Ríos, H., Polanco, M. 2009. Efecto de dos enraizadores en tres especies forestales promisorias para la recuperación de suelos. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.1966>
- Jamal Uddin, A. F. M., Rakibuzzaman, M., Raisa, I., Maliha, M., y Husna, M. A. (2020). Impact of natural substances and synthetic hormone on grapevine cutting. Journal of Bioscience and Agriculture Research, 25(01), 2069-2074. <https://doi.org/10.18801/jbar.250120.253>
- Lugo M, Molina F, Gonzáles I, Gonzáles J, Sanchéz E. Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína bruta de *Tithonia diversifolia*. Zootecnia Tropical. 2012; 30(4):317–325.
- Saavedra Miranda, A. F. y Gutiérrez Gonzales, S.L. (2014). Evaluación del efecto de tres sustratos en el desarrollo de plantas de Moringa oleífera en vivero. Universidad nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2746>.
- SOLARTE, L. H. (2013). Protocolo para la siembra de botón de oro y leucaena en potreros con praderas mejoradas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos. En L. H. SOLARTE, Protocolo para la siembra de Botón de oro y leucaena en potreros con praderas mejoradas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos (pág. 8). BOGOTA: PRO-OFFSET EDITORIAL S.A.

COSTOS OPERATIVOS DE GRUPOS DE COSECHA DE CAÑA (*Saccharum Officinarum*) EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

Antonio Pérez Chicatto¹

Víctor Hugo Berdón Carrasco²

José Alfredo Villagómez Cortés³

RESUMEN

El cultivo de caña de azúcar es una actividad económica extendida en México, pero pocos productores conocen sus costos de producción y de operación. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar los costos de operación de los grupos de cosecha de caña de azúcar en la zona de abastecimiento del ingenio Central Progreso S.A. de C.V., en Paso del Macho, Veracruz, México. Se colectaron datos de prácticas operativas mediante entrevista a jefes de 55 grupos de cosecha. Se compararon los cinco grupos de cosecha más eficientes con los cinco menos eficientes. Los costos operativos totales varían entre \$92.55 y \$122.56/ton de caña cosechada. Los rubros principales fueron: gastos de cosecha, 83.80 a 97.37%; y costos distribuibles, 2.63 a 16.20% de los costos totales de cosecha. Las actividades de administración en grupos de cosecha eficientes significaron entre \$7.01 y \$10.08/ton de cosechada más que en grupos deficientes. La contratación de mano de obra foránea para el corte por los grupos deficientes implicó otras actividades que aumentan entre \$4.52 y \$6.07/ton de caña cosechada. Se formulan recomendaciones para mejorar la eficiencia en costos de los grupos. Se concluye que existen varias áreas de oportunidad para eficientar los costos de operación.

Palabras claves: agronegocios, eficiencia administrativa, mano de obra foránea, organización, rentabilidad, toma de decisiones, zafra.

ABSTRACT

Sugarcane cultivation is a widespread economic activity in Mexico, but few producers are aware of its production and operating costs. Therefore, the objective of this study was to analyze the operating costs of sugarcane harvesting groups in the supply zone of the Central Progreso S.A. de C.V. sugar mill in Paso del Macho, Veracruz, Mexico. Data on operational practices were collected through interviews with the leaders of 55 harvesting groups. The five most efficient harvesting groups were compared with the five least efficient. Total operating costs ranged from \$92.55 to \$122.56 per ton of

¹ Práctica privada antoperchicatto@gmail.com

² Universidad Veracruzana. viberdon@uv.mx

³ Universidad Veracruzana. avillagomez@uv.mx

harvested sugarcane. The main cost categories were harvesting expenses, representing 83.80 to 97.37% of total costs, and distributable costs, representing 2.63 to 16.20% of total harvesting costs. Administrative activities in efficient harvesting groups cost between \$7.01 and \$10.08 per ton of harvested sugarcane more than in inefficient groups. Hiring foreign labor for harvesting by the less efficient groups resulted in additional costs that increased the price by \$4.52 to \$6.07 per ton of harvested sugarcane. Recommendations are made to improve the cost efficiency of these groups. It is concluded that several areas of opportunity exist for improving operating costs.

Keywords: agribusiness, administrative efficiency, foreign labor, organization, profitability, decision-making, harvest.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria azucarera es una de las principales actividades económicas en México por su importancia económica y social en el sector primario, pues ocupa el séptimo lugar en superficie cultivada con 673,480 hectáreas, aporta 2.1% al PIB y 8.6% al PIB agropecuario, genera más de 440 mil empleos directos y 2.2 millones de personas obtienen beneficios indirectos, con actividades que se desarrollan en 737 municipios de 15 estados diferentes (Figuerola Rodríguez *et al.*, 2015; Santillán-Fernández *et al.*, 2014). No obstante, los productores que se dedican al cultivo de la caña de azúcar en México no son ajenos a las carencias que aquejan al sector agrícola desde hace muchos años, ya que sufren de falta de financiamiento y de apoyos para la adquisición de maquinaria, equipo de alta tecnología y sistemas de riego moderno (Ortiz Laurel *et al.*, 2012; Aguilar Rivera, 2014).

La industria azucarera cuenta con la capacidad de abastecer la demanda nacional, y es capaz de crear excedentes que se destinen a otros mercados. pero la disminución de los precios internacionales del azúcar, se ha diversificado el destino de la caña de azúcar como materia prima teniendo como fines las industrias de biocombustibles y alcoholeras, aprovechando los altos niveles de producción (Fossati *et al.*, 2023). La reducción de los márgenes de utilidad obliga a ser mas eficiente en la gestión de los costos (Cano Flores *et al.*, 2013; Ochoa Triana *et al.*, 2020); en este sentido, el manejo apropiado de los costos operativos puede ayudar a hacer más rentable a una organización (Azañero Huacho, 2023; Hanickel *et al.*, 2014). Así, los productores de caña de azúcar que abastecen a los ingenios azucareros necesitan analizar los costos operativos de los grupos de cosecha con los que trabajan, para incrementar su eficiencia. Por tanto, el objeto de este estudio es llevar a cabo un análisis de costos operativos de los grupos de cosecha de caña de azúcar que abastecen el ingenio azucarero Central Progreso S.A. de C.V., ubicado en el municipio de Paso del Macho, Veracruz para identificar las actividades realizadas por los grupos de cosecha y los costos que generan.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

Paso del Macho es un municipio ubicado en la zona montañosa, en el centro del estado de Veracruz, y se ubica entre los paralelos 18°50' y 19°03' de latitud norte y los meridianos 96°28' y 96°50' de longitud oeste, a una altitud entre 100 y 700 m. El rango de temperatura va de 20 a 26°C y el rango de precipitación de 1100 a 1600 mm (SEFIPLAN, 2023).

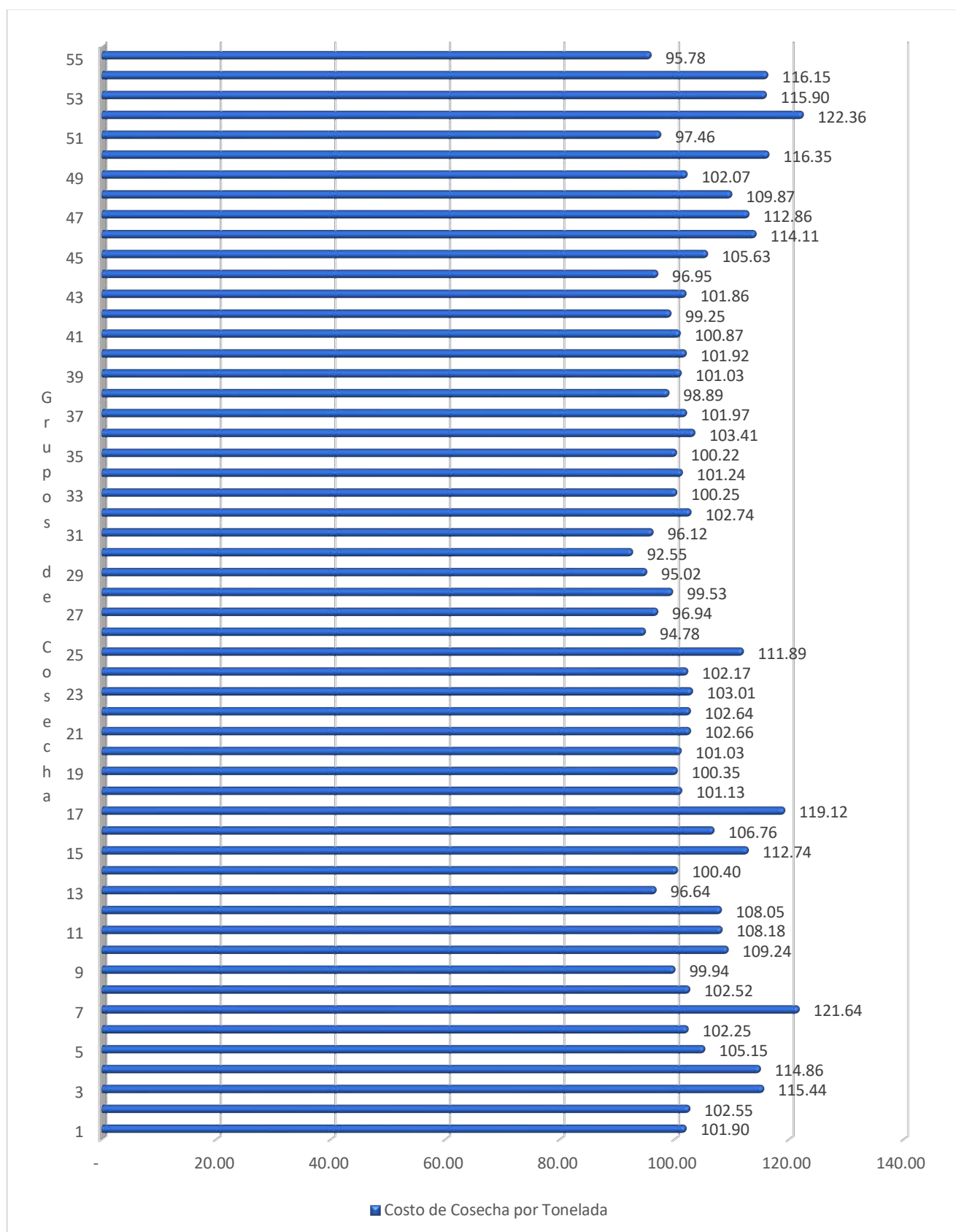
Diseño de la investigación

El Departamento Técnico de Campo y el Departamento de Crédito a Cañeros del Ingenio Azucarero Central Progreso S.A. de C.V. en Paso del Macho, Ver. proporcionaron la información productiva y financiera. Esta información se complementó con la entrevista personal directa a los jefes de los 55 grupos de cosecha que abastecen de caña al ingenio azucarero Central Progreso S.A. de C.V. para llevar a cabo su proceso de molienda y extracción de azúcar estándar. Un grupo de cosecha es un equipo de trabajo organizado que agrupa jornaleros y operadores y cuenta con maquinaria y equipo de traslado. Su principal función radica en cosechar la caña en una determinada área (integrada por un grupo de productores).

La asamblea general de propietarios o ejidatarios es el órgano supremo del grupo de cosecha. Dos meses previos al inicio de cada zafra, los productores se reúnen en sus comunidades o grupo de localidades, cuando sus comunidades son pequeñas. Por usos y costumbres, en la mayoría de los casos los productores que integran los grupos de cosecha suelen ser amigos o familiares. La asamblea en pleno levanta un acta donde se designa al jefe del grupo o representante encargado de la administración de la cosecha y al auxiliar del mismo. A su vez, ellos supervisan las cuadrillas de corte, al fletero, al lonchero, al burrero y al alzadorista. Este último tiene bajo su mando a los estaqueros. La cosecha se rige bajo condiciones determinadas por el ingenio, a través de un programa definido por el propio ingenio. El jefe de grupo también tiene la responsabilidad de notificar a la empresa su designación como representante, para que previo al inicio de la zafra, la empresa lo capacite en temas relacionados con calidad y sobre el funcionamiento del abastecimiento de la empresa. También es responsable de informar a los productores los avances de la administración, ya sea de forma constante o hasta el final de la zafra.

Se calcularon los costos por tonelada de caña de azúcar producida por cada grupo de cosecha que trabaja para el ingenio Central Progreso S.A. de C.V. (Figura 1).

Figura 1. Costos totales de caña de azúcar por grupo de cosecha que abastecen al Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. (Pesos t⁻¹).



Fuente. Departamento de Crédito, Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. Zafra 2015-2016.

A partir de ello, se seleccionaron los cinco grupos con mayores costos por tonelada (“deficientes”) y los cinco grupos con menor costo por tonelada (eficientes). Los grupos con mayores costos por tonelada fueron: grupo 52, \$122.36; grupo 7, \$121.36 y grupo 17, \$119.12; grupo 50, \$116.35; y grupo 54, \$116.15. Por el contrario, los grupos más eficientes en materia de costos fueron: grupo 30, \$92.55; grupo 26, \$94.78; grupo 29, \$95.02; grupo 31, \$96.12 y grupo 13, \$96.64. Los 10 grupos de cosecha seleccionados se compararon en cuanto a sus costos y actividades para identificar los conceptos que afectan a la rentabilidad y los factores o variables que determinan su condición eficiente o deficiente, dependiendo del caso.

Costos de producción

El Departamento de Crédito Cañero del ingenio Central Progreso S.A. de C.V. considera dos grandes rubros para sus costos de operación: costos de cosecha y costos distribuibles. Los costos de cosecha son la suma de los conceptos de corte, administración y alce. El *corte* hace referencia al pago que reciben los cortadores de caña por tonelada cortada. En esta zona, el corte se puede pagar de dos formas, la primera es por contenedor y la segunda es por tonelada. Para fines de esta investigación se tomó en cuenta la segunda forma de pago.

Los costos de *administración* abarcan todos aquellos que resultan de la administración del grupo de cosecha. Se toman en cuenta los sueldos del jefe de grupo, del auxiliar del jefe de grupo, del lonchero y del burrero. En este concepto se incluyen también los gastos de combustible de las camionetas y/o motos que se utilizan para mover a los cortadores de parcela a parcela, llevar el desayuno a los cortadores, mover los contenedores, y en algunos casos, también las alzadoras. A veces en este concepto se consideran gastos extraordinarios, para alimentación o bebidas que se les llevan a los cortadores. Los gastos de *alce* se asocian con la actividad de recoger la caña que han cortado los cortadores y acomodarla en el carro que la transporta al ingenio. Para la determinación del valor de este concepto se toma en cuenta el combustible requerido por las alzadoras, y los sueldos de los operadores de estas y de los estaqueros.

Por su parte, los *costos distribuibles* son la suma de diversos conceptos: contrato de cortadores, retorno de cortadores, traslado de cortadores, complemento de cosecha, leña, préstamos, limas y morunas, reparación de vehículos, reparación de galeras, reparación de contenedores, cinchos, compra de contenedores, traslado de alzadoras, hechura de contenedores, utensilios, petates, caminos internos y radios.

El “Contrato de cortadores” se refiere a una prima o monto que se les da a los cortadores al inicio de zafra con el fin de establecer un compromiso de trabajo con el grupo. “Retorno de cortadores” es una prima o monto que se les entrega a los cortadores al terminar la zafra, y que por lo regular equivale a

la misma cantidad de dinero que el concepto de contrato de cortadores. El “traslado de cortadores” refleja el costo de alquilar autobuses con el propósito de transportar cortadores foráneos, sean procedentes de municipios aledaños o de otros estados. El “complemento de cosecha” es un monto que el grupo de cosecha paga a sus cortadores u operadores, cuando algunas parcelas no tienen condiciones óptimas de cosecha, con el fin de que se pueda llevar a cabo la zafra. También puede reflejarse como el pago que se le hace a otros grupos por ayuda.

La “Leña” se refiere a la compra de leña que los grupos de cosecha hacen para que los cortadores, mayormente foráneos, puedan llevar a cabo sus labores de cocina. El ingenio puede hacer “préstamos” a los grupos de cosecha cuando ocurren eventos extraordinarios, tales como reparaciones de alzadoras o de vehículos. Las “limas y morunas” las entrega el ingenio a los grupos y se reparten entre los cortadores; sin embargo, existen grupos que consiguen sus limas y morunas por otra parte.

La “reparación de vehículos” engloba los costos que provocan las descomposturas de los vehículos, aunque en ocasiones los grupos ubican los costos por este concepto bajo el concepto de préstamos.

La “reparación de galeras” incluye todos los costos en que incurren los grupos que contratan cortadores foráneos para reparar las galeras o bodegas que lo necesitan para dar alojamiento a sus cortadores foráneos. La “reparación de contenedores” incluye los costos por la compostura de contenedores o burros metálicos utilizados para el desarrollo del alce de la caña de azúcar.

Los “Cinchos” se refiere a la compra de los cinchos o fajas que se instalan en los camiones cañeros, y cuya función es apretar la caña de azúcar para prevenir su caída del carro durante el acarreo de las parcelas al ingenio. La “compra de contenedores” hace referencia a la adquisición de contenedores o burros metálicos para el alce de la caña; estos contenedores se pueden comprar nuevos o usados.

El “traslado de alzadoras” incluye el pago a los grupos de apoyo por préstamos de alzadora o apoyo de corte. Por lo regular, los jefes de grupo incorporan los costos por este concepto en complemento de cosecha o en préstamos. La “hechura de contenedores” se refiere al costo por mandar a hacer los contenedores o burros metálicos que se emplean en el desarrollo del alce de la caña de azúcar.

Los “Utensilios” incluye la compra de utensilios de cocina que realiza el jefe de grupo para que los cortadores foráneos puedan cocinar. “Petates” contiene el costo de adquirir petates que el jefe de grupo entrega a los cortadores foráneos para que puedan dormir en las galeras durante la zafra. “Caminos internos” hace referencia al costo por reparación de los caminos que se encuentran dentro de las parcelas de los productores del grupo, ya que en ocasiones es difícil el acceso de los camiones cañeros, alzadoras y vehículos para realizar las maniobras de cosecha. “Radios” comprende los pagos por adquisición o compostura de los equipos que poseen los jefes de grupo para comunicarse con la superintendencia de campo del Ingenio.

Después de conocer los conceptos con mayor nivel de afectación, se realizaron entrevistas personales a cada uno de los jefes de grupo para obtener el conocimiento de sus prácticas operativas y determinar que provoca que esos conceptos afecten la rentabilidad. En estas entrevistas, se obtuvo información relevante para la investigación cómo la organización y conformación de los grupos de cosecha, las zonas geográficas de las parcelas que cosechan, las variedades de caña cosechada por los grupos, donde se encuentran ubicadas y las toneladas de caña cosechadas.

Análisis de información

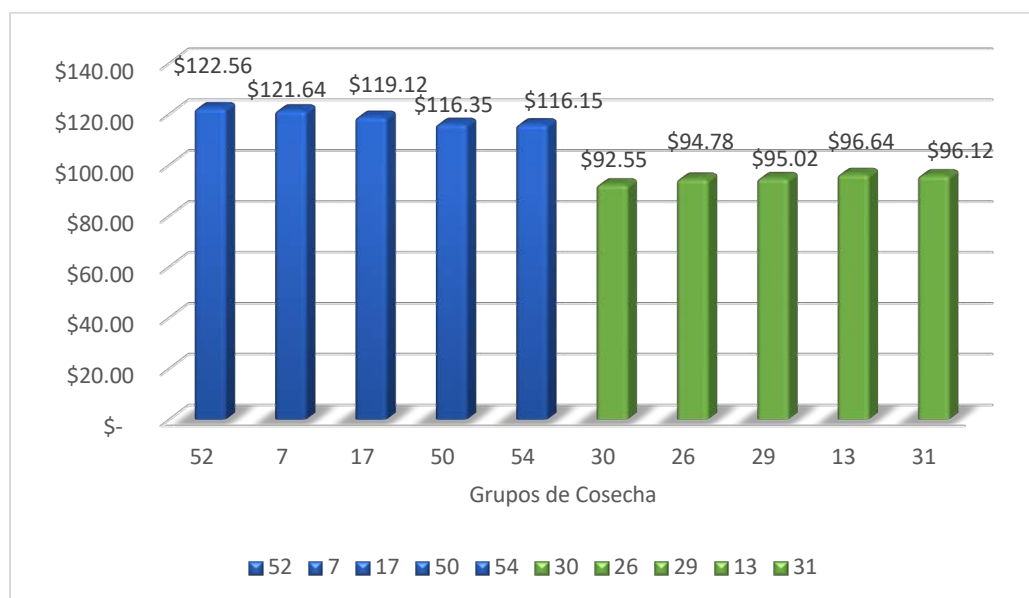
Todos los datos colectados se organizaron, analizaron y evaluaron mediante estadística descriptiva. Con objeto de comparar los grupos, se realizó una prueba t de student, la cual se utiliza para determinar si existe una diferencia significativa entre el valor de las medias de dos poblaciones (Berenson *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Costos de cosecha

Por concepto de corte, el costo por tonelada no muestra mucha variación entre los grupos y va desde los \$50.00 hasta los \$51.70 ton^{-1} , si bien se aprecian valores menores en los grupos con mayor eficiencia. Por concepto de administración, los grupos eficientes rondaron un costo de \$20.00 ton^{-1} . En cambio, los demás grupos tuvieron costos entre \$27.04 y \$30.08 ton^{-1} , lo que representa diferencia entre \$7.01 ton^{-1} y \$10.08 ton^{-1} entre los grupos eficientes y deficientes. Por concepto de alce, los grupos eficientes tuvieron un costo similar cercano a \$20.00 ton^{-1} ; en cambio, en los grupos ineficientes el costo por alce fluctuó entre \$22.28 y \$25.14 ton^{-1} , lo que representa una diferencia de \$2.20 a \$5.14 ton^{-1} entre los grupos eficientes y los ineficientes. Al considerar los costos totales de cosecha – que incluyen la suma de los conceptos de corte, administración y alce –, la diferencia entre los grupos de cosecha eficientes y los ineficientes oscila entre \$19.51 y \$30.01 ton^{-1} (Figura 2). Los grupos eficientes no rebasan un costo total de \$100.00 ton^{-1} .

Figura 2. Costos de cosecha totales por tonelada de 10 grupos de cosecha que abastecen al Ingenio Central Progreso.



Fuente: Elaboración propia con datos del Departamento de Crédito, Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. zafra 2015-2016.

Costos distribuibles

En general, los grupos eficientes manejan costos por concepto contrato de cortadores (entre \$1.93 y \$2.31 ton^{-1}) que son menores a los costos de los grupos ineficientes (entre \$2.33 y \$4.07 ton^{-1}). Por concepto de retorno de cortadores, se aprecia variación, los grupos eficientes pagan de \$0 a \$2.32 ton^{-1} con un costo promedio de $\$1.65 \pm 0.93 \text{ ton}^{-1}$; los grupos ineficientes pagan entre \$1.66 y 2.76 ton^{-1} con un promedio de $\$2.36 \pm 0.51 \text{ ton}^{-1}$. Dentro de los ineficientes, el grupo 54 paga solo \$1.55 y el grupo 30, considerado eficiente, no hace el pago de retorno de cortadores.

Los grupos eficientes no tuvieron participación por concepto de traslado de cortadores. En cambio, los grupos ineficientes cuentan con cortadores foráneos e incurrieron en costos entre \$0.35 y \$2.04 ton^{-1} cosechada. En relación con el concepto complemento de cosecha, tres de los grupos eficientes no tuvieron este costo y en los dos restantes el valor fue muy bajo (\$0.34 y \$0.38 ton^{-1} respectivamente). En cambio, los grupos ineficientes tuvieron costos entre \$0.88 y \$4.04 ton^{-1} de caña de azúcar.

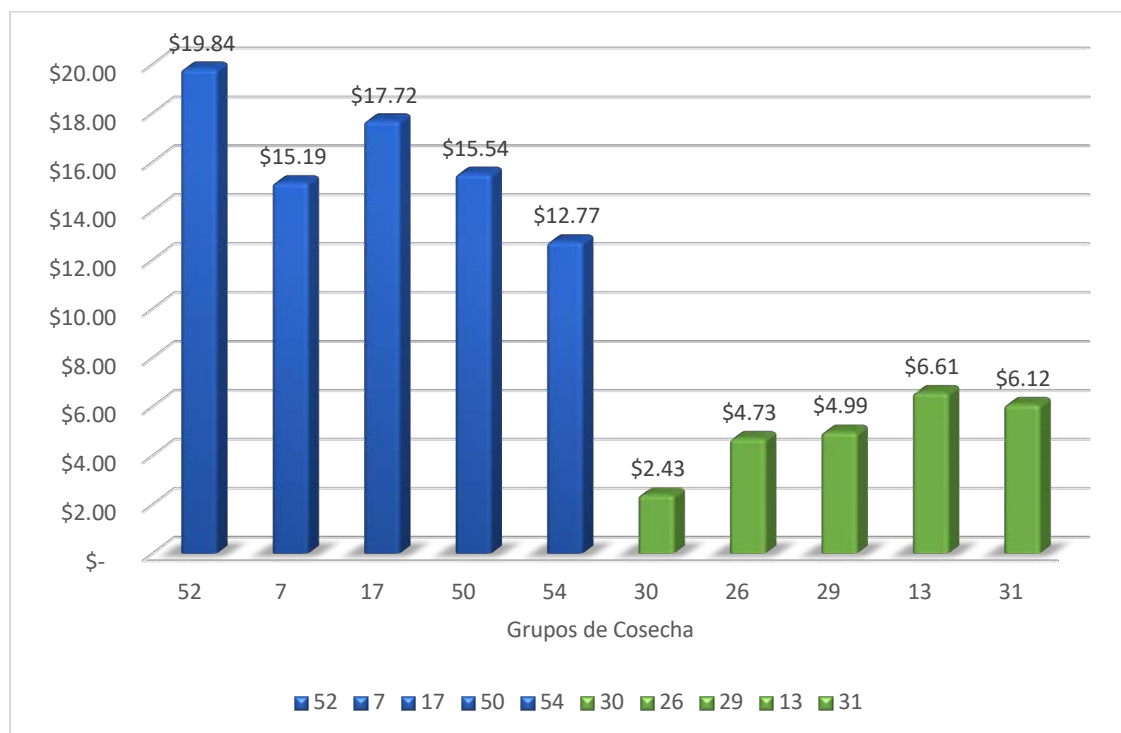
Los grupos eficientes no tuvieron costos por concepto de leña, mientras que en los grupos ineficientes el costo osciló entre \$0.41 y \$1.81 ton^{-1} de caña de azúcar. De igual manera, ninguno de los grupos eficientes tuvo costos atribuibles a préstamos, en tanto que cuatro de los grupos no eficientes tuvieron costos entre \$1.10 y \$2.68 ton^{-1} como consecuencia de recibir préstamos. Los costos por limas y morunas en los grupos eficientes variaron entre \$0.12 y 0.82 ton^{-1} (0.458 ± 0.27), en tanto que en los grupos ineficientes oscilaron entre \$0.51 y \$1.37 ton^{-1} (0.894 ± 0.34).

Los grupos 52, 7, 17 y 50 –considerados poco eficientes - generaron costos para reparar las galeras desde \$1.21 hasta \$2.51 ton^{-1} de caña de azúcar. Los grupos 30, 26, y 31 no llevaron a cabo la reparación de contenedores. Algunos grupos eficientes cuentan con un valor mayor por este concepto que los grupos ineficientes, tal es el caso de los grupos 29 y 13 que cuentan con un valor de \$0.76 y \$1.23 ton^{-1} respectivamente, y es superior a los grupos 50 y 54, con \$0.36 y \$0.31 ton^{-1} respectivamente.

Algunos grupos en particular incurrieron en costos que no tuvieron la mayoría de ellos. El grupo 7 compró cinchos con un costo de \$0.05 ton^{-1} . Los grupos 31, 50 y 54 compraron contenedores con un costo de \$1.93, \$0.99 y \$1.04 ton^{-1} de caña de azúcar cosechada, respectivamente. Los grupos 52 y 17 compraron utensilios de cocina por un valor de \$0.75 y \$0.73 ton^{-1} respectivamente. Solo el grupo 50 compró petates con un costo de \$0.23 ton^{-1} de caña de azúcar cosechada.

En general, los grupos eficientes fluctúan entre un valor mínimo de \$2.43 ton^{-1} y un valor máximo de \$6.61 ton^{-1} . Los grupos ineficientes fluctúan entre \$12.77 ton^{-1} y \$19.84 ton^{-1} , por consiguiente, existe una diferencia mínima de \$6.16 ton^{-1} y una diferencia máxima de \$17.41 ton^{-1} entre los grupos ineficientes y los eficientes (Figura 3).

Figura 3. Costos distribuibles (pesos ton^{-1}) de 10 grupos de cosecha que abastecen el Ingenio Central Progreso. Paso del Macho, Veracruz.



Fuente: Departamento de crédito, Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. zafra 2015-2016.

El cuadro 1 compara los grupos ineficientes con los grupos eficientes, y se aprecian diferencias en los gastos de cosecha en los tres conceptos que lo conforman. En los costos distribuibles, los conceptos en los que resaltan diferencias estadísticas fueron: retorno de cortadores, traslado de cortadores, complemento de cosecha, leña, préstamos y reparación de galeras ($P < 0.05$).

Cuadro 2. Comparación de indicadores entre los grupos de cosecha eficientes y ineficientes en el Ingenio Central Progreso. Paso del Macho, Veracruz.

Conceptos	Grupos Ineficientes	Grupos Eficientes
Costos de Cosecha	102.758 $\pm$ 3.676 ^a	90.048 $\pm$ 0.001 ^b
Corte	50.868 $\pm$ 0.518 ^a	50.022 $\pm$ 0 ^b
Administración	28.316 $\pm$ 1.373 ^a	20.016 $\pm$ 0 ^b
Alce	23.574 $\pm$ 1.481 ^a	20.01 $\pm$ 0 ^b
Costos Distribuibles	16.362 $\pm$ 6.904 ^a	4.974 $\pm$ 2.622 ^b
Contrato de cortadores	2.908 $\pm$ 0.45 ^a	2.074 $\pm$ 0.028 ^b
Retorno de cortadores	2.358 $\pm$ 0.256 ^a	1.64 $\pm$ 0.867 ^a
Traslado de cortadores	1.174 $\pm$ 0.403 ^a	0 $\pm$ 0 ^b
Complemento de cosecha	2.87 $\pm$ 1.489 ^a	0.144 $\pm$ 0.039 ^b
Leña	1.034 $\pm$ 0.647 ^a	0 $\pm$ 0 ^b
Préstamos	1.778 $\pm$ 1.41 ^a	0 $\pm$ 0 ^b
Limas y morunas	0.854 $\pm$ 0.136 ^a	0.51 $\pm$ 0.076 ^a
Reparación de galeras	1.546 $\pm$ 1.058 ^a	0 $\pm$ 0 ^b
Reparación de contenedores	0.904 $\pm$ 0.315 ^a	0.398 $\pm$ 0.324 ^a
Compra de contenedores	0.584 $\pm$ 0.749 ^a	0.208 $\pm$ 0.216 ^a
Cinchos	0.01 $\pm$ 0 ^a	0 $\pm$ 0 ^a
Utensilios	0.296 $\pm$ 0.164 ^a	0 $\pm$ 0 ^a
Petates	0.046 $\pm$ 0.01 ^a	0 $\pm$ 0 ^a
Total	119.12 $\pm$ 8.319 ^a	95.022 $\pm$ 2.498 ^b

ab Distinta literal por renglón indica diferencia estadística ($P < 0.05$)

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Departamento de Crédito del Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. Zafra 2015-2016.

DISCUSIÓN GENERAL

Entre 1940 y 1972, mediante el uso del crédito, los ingenios cañeros encontraron un mecanismo para controlar las diferentes fases del proceso productivo de la caña. Con la ayuda de inspectores de campo se supervisaba la realización de las diferentes tareas y se determinaban las actividades y pasos a desarrollar. En ese lapso, el ingenio expedía las órdenes de corte y controlaba las operaciones a través de los comisariados ejidales, que vigilaban el trabajo de las cuadrillas o grupos de cortadores. Cada comisariado ejidal representaba un ejido y recibía del ingenio un salario, mismo que se le descontaba a los cañeros (Paré *et al.*, 1987). En la actualidad, el mecanismo es prácticamente el mismo que se ha utilizado desde 1940, la diferencia es que ahora el encargado de la vigilancia es el jefe de grupo, el cual es seleccionado por la asamblea integrada por los productores que conforman cada grupo, pero que carece de control sobre el desarrollo de la cosecha.

Kaneko et al. (2009) señalan que para que la producción de caña de azúcar sea exitosa se requiere una planeación adecuada de actividades que aumenten la productividad y minimicen los costos de

producción. El costo de la cosecha es muy variable y no existe mucha literatura que haga referencia al respecto. De acuerdo con Paré *et al.* (1987), en el municipio de Tres Valles, Veracruz en 1970, la suma de los conceptos de costos corte y alce equivalían al 50% de la liquidación total y el precio era de \$70 ton⁻¹. En la zafra 2012-2013 en las regiones de Turrialba y Jiménez en Costa Rica, se notificaron costos de cosecha (corte y alce) de 4,497.81 colones/tonelada, que equivalen a unos \$139.77 ton⁻¹ (Calderón, 2013). De igual modo, en la zafra 2014-2015 en la provincia de Tucumán en Argentina, se determinó un costo de cosecha de \$69.93 ton⁻¹ (Santochi *et al.*, 2015). Por supuesto, las variaciones en los costos antes mencionadas están en función de muy diversas variables, no solo el tiempo y lugar en que se realizan, sino también la variedad de caña, la tecnología empleada, la disponibilidad y el precio de la mano de obra, e incluso la metodología empleada para calcular los costos, por lo que más que para fines de comparabilidad, los datos anteriores son solo de utilidad como referencia.

Por otro lado, la administración se aplica en cualquier clase de organización, y busca mantener un ambiente adecuado para alcanzar con eficiencia los objetivos seleccionados por los grupos (Weihrich *et al.*, 2012). Al no contar con una buena administración, los grupos se vuelven ineficientes, pues carecen de planeación en sus actividades, la organización y dirección distan de ser óptimas, y no se aplica un control para desarrollar una mejora continua.

Los grupos que se analizaron en este estudio desarrollan una amplia variedad de actividades, y se identificaron algunas que son efectuadas por todos los grupos, pero también otras que solo realiza un grupo. La generación de estas actividades genera un costo que, en algunas ocasiones, puede tener un valor muy parecido entre los diferentes grupos, mientras que en otras puede mostrar amplias diferencias.

Existen también diferentes tipos de labores realizadas por los grupos en el proceso de la cosecha, que son fundamentales y de alto impacto en los costos, y que a su vez impactan en la eficiencia de los grupos. Es importante mencionar que muchas de estas actividades son causadas por factores que no pueden ser controlados por los grupos de cosecha. Es necesario identificar dichas actividades y determinar cuáles pueden controlarse por el grupo y de qué forma se puede mejorar la eficiencia en los costos, realizando o no estas faenas.

Existen actividades que son esenciales por su propia naturaleza, porque sin ellas no existiría la cosecha son: el corte de la caña, la administración del grupo, el alce de la caña de azúcar, el contrato de los cortadores, la compra de limas y morunas, así como el acarreo de la gramínea, pero para efecto de esta investigación, el acarreo no fue tomado en cuenta, ya que no es un factor determinante de la eficiencia pues su valor es directamente proporcional a la distancia a la que se encuentra la parcela

donde se corta la caña hasta el ingenio, si bien esto no determina si un grupo es eficiente o ineficiente, y solo contribuye a la variación en los resultados.

Dentro de las actividades que son esenciales se encuentran conceptos como administración, el cual comprende diferencias amplias en los costos entre los grupos, pues incluye el pago de sueldos de los administradores y de combustible de los vehículos ocupados para las operaciones requeridas durante la cosecha. El valor de la diferencia de esta actividad entre los grupos de mayor eficiencia y menor eficiencia oscila entre \$7.01 ton^{-1} y \$10.08 ton^{-1} . Esto indica que los grupos de mayor eficiencia en costos cuentan también con una mayor eficiencia administrativa y logística, al realizar un menor movimiento de los vehículos utilizados para transportar cortadores, comida, contenedores y otros. Otra prueba de esta eficiencia administrativa y logística es la diferencia que se encuentra en el concepto alce, en donde se llega a observar una diferencia de entre \$2.20 a \$5.14 ton^{-1} y que apunta a un menor uso de combustible en las alzadoras.

Es importante mencionar que la conformación de los grupos juega un rol importante en el concepto de administración, ya que con base en la ubicación de las parcelas y de las variedades que estas poseen, se debe planear la logística de la cosecha, pues esto determina los lugares donde el grupo se ira moviendo y en qué fechas. En consecuencia, si hay caña con diferente grado de maduración en diversas zonas de cosecha, los grupos estarán obligados a cortar la caña con maduración temprana y luego regresar por la caña de maduración media o tardía, aumentando así el uso de combustible, afectando en forma negativa los gastos por concepto de administración y alce.

En lo tocante a contrato de cortadores - otra de las actividades esenciales -, no se aprecia mucha diferencia entre los grupos con mayor y menor eficiencia, llegando a ser la mayor de estas de \$1.76 ton^{-1} (Figura 11); sin embargo, la importancia de esta actividad es el tipo de personal que se contrata, ya que estos trabajadores pueden ser de dos tipos: locales o foráneos. De la contratación de personal foráneo se pueden derivar otros conceptos de costeo, en los cuales los grupos que contratan mano de obra local no incurren, y también pueden aumentar los costos de administración y logísticos por la necesidad de transportar a los cortadores de parcela a parcela, de modo que se elevan los costos de cosecha y se disminuye la eficiencia en costos del grupo. Una actividad necesaria que se deriva del contrato de cortadores foráneos es el traslado de los cortadores. Solo los grupos de cosecha ineficientes llevaron a cabo esta actividad.

Existen algunas actividades derivadas del contrato de cortadores foráneos en las que no necesariamente se debe incurrir, pero que si se contrata mano de obra foránea suelen requerirse para los grupos de cosecha. Entre estos conceptos se incluyen: compra de leña, reparación de galeras,

compra de utensilios de cocina y compra de petates. La suma de estos cuatro conceptos en los grupos con menor eficiencia alcanza un monto de \$2.81 ton⁻¹ a \$5.07 ton⁻¹.

Por otra parte, existen actividades que realizan los grupos de cosecha, sin importar que tipo de cortadores se contrate, pero que no son esenciales para llevar a cabo el proceso de la cosecha. Estas actividades se realizan solo si ello resulta necesario; dichas actividades son: el pago de retorno de cortadores, el complemento de cosecha, los préstamos, la compra de contenedores, la reparación de los contenedores y la compra de cinchos.

En las actividades no esenciales se ubica el retorno de cortadores. Con excepción del grupo 30, la mayoría de los grupos lo realiza, El pago de esta prima es opcional, pero esta actividad no tiene un alto impacto en la eficiencia, ya que existen grupos con mayor eficiencia que cuentan con un valor más alto por este concepto que los grupos ineficientes. Una de las actividades no esenciales, pero con un alto impacto en la eficiencia de los grupos, es el pago del complemento de cosecha. Solo dos grupos eficientes cuentan con esta actividad, pero todos los grupos menos eficientes incurren en esta actividad, lo que indica de nuevo que los grupos eficientes cuentan con una buena administración y planeación, ya que lo que provoca el valor de esta actividad es la presencia de condiciones no adecuadas para la cosecha en las parcelas, o la ayuda de otros grupos para cosechar. La diferencia de valor entre los grupos eficientes y los ineficientes va de \$0.50 a \$3.70 ton⁻¹.

El concepto de préstamos entra en las actividades que no se controlan, pero que pueden ser evitadas si se lleva a cabo una buena planeación y administración de los grupos de cosecha. Cuatro de los grupos ineficientes presentan valores entre \$1.10 y \$2.68 ton⁻¹ por esta actividad, lo que demuestra la carencia de una buena administración. Otras actividades como compra de contenedores, reparación de contenedores y compra de cinchos son actividades que no pueden ser controladas por los grupos de cosecha, al ser actividades extraordinarias, pero que si denotan diferencias importantes entre los grupos eficientes y ineficientes.

De este modo, se identifica que existen elementos que determinan la deficiencia en los costos en determinados grupos de cosecha, sin importar la cantidad de caña que cosechen o el número de personas que conforman el grupo, y la causa de ello es la mala administración de estos. Queda claro que la presencia y participación de los cinco grupos ineficientes en actividades que no son necesarias o extraordinarias a las actividades de cosecha y las grandes diferencias en los valores por concepto de administración, demuestran una amplia falta de planeación, organización, dirección, control e incluso problemas de corrupción, que tienen que ver con la falta de participación democrática y colectiva de los productores que integran el grupo en el proceso de la cosecha (Paré et al., 1987).

Como áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia en costos de los grupos se identificaron actividades como la administración, siendo el concepto que impacta mayormente en los costos, por lo que al mejorar esta actividad se podrían no solo disminuir las diferencias en costos por este concepto, sino también reducir el importe en los conceptos de préstamos y complementos de cosecha, al llevar a cabo los procesos administrativos correctamente. Es importante mencionar que esta actividad no se ve influida por factores ajenos al grupo que impidan su mejora, como es el caso de la contratación de mano de obra foránea, la cual es una decisión forzada por la carencia de suficiente mano de obra local para llevar a cabo la zafra.

Para realizar las mejoras en las áreas de oportunidad identificadas, se recomienda la capacitación de los jefes de grupo en materia administrativa, para que puedan desarrollar una mejor planeación, organización, dirección, integración y control, pues con esto puede mejorar la eficiencia de los costos operacionales de la cosecha de la caña de azúcar, y también podrían tener mayor participación en la planeación del programa de cosecha que el ingenio elabora.

Otra recomendación es la reorganización de los grupos de cosecha tomando como base la ubicación geográfica de las áreas de cosecha, con el propósito de que se creen grupos compactos, lo cual puede impactar en forma beneficiosa a los costos administrativos, ya que se reduciría la compra de combustible.

También se recomienda la creación de una comisión de transparencia dentro de cada grupo, conformada por los mismos productores que integran los grupos. La finalidad de esta comisión sería verificar que los costos sean los declarados por el jefe de grupo, que el dinero se utilice correctamente y que no exista desvío de fondos, o en algunos casos, que no se incurra en costos innecesarios.

Debido a que el interés por mejorar la eficiencia de los costos de cosecha solo atañe a los productores, las recomendaciones deben de ser tomadas en cuenta por ellos y no por la factoría.

CONCLUSIONES

Los grupos de cosecha de caña de azúcar que abastecen el Ingenio Central Progreso S.A. de C.V. ubicado en el municipio de Paso del Macho, Veracruz tienen una diversidad de costos operativos, que son resultado de todas las actividades realizadas por estos grupos, los valores de los costos de cosecha de los grupos oscilan entre los \$92.55 ton⁻¹ y los \$122.56 ton⁻¹ de caña cosechada.

Se identificaron dos rubros principales que impactan en los costos de los grupos de cosecha. Por una parte, los gastos de cosecha, que incluyen los conceptos de corte, administración y alce y representan entre 83.80% y 97.37% del valor total de los costos de cosecha; el segundo rubro son los costos distribuibles, los cuales incluyen muy diversos conceptos: contrato de cortadores, retorno de

cortadores, traslado de cortadores, complemento de cosecha, compra de leña, préstamos, compra de limas y morunas, reparación de galeras, reparación de contenedores, compra de cinchos, compra de contenedores, traslado de alzas, hechura de contenedores, compra de utensilios, compra de papas, caminos internos y compra de radios. La participación de este segundo rubro va de 2.63% a 16.20% del valor total de los costos totales de cosecha.

La diferencia más relevante se encontró en las actividades de administración del grupo de cosecha, donde se identificó una diferencia entre \$7.01 y \$10.08 ton^{-1} cosechada entre los grupos eficientes y los grupos menos eficientes, así como en la actividad de alce, donde la diferencia fluctuó entre \$2.28 y \$5.14 ton^{-1} ; otra diferencia importante se encontró en la contratación de mano de obra foránea para llevar a cabo el corte por parte de los cinco grupos ineficientes, lo que deriva en que se tengan que realizar otras cinco actividades: traslado de cortadores, compra de leña, reparación de galeras, compra de papas y compra de utensilios de cocina, mismas que en conjunto dan una diferencia de entre \$4.52 y \$6.07 ton^{-1} de caña cosechada entre los grupos eficientes y los ineficientes. Del mismo modo, se el pago de complemento de cosecha puede llegar a considerarse significativo entre los grupos eficientes y los ineficientes, ya que su diferencia osciló entre \$0.50 y \$3.66 ton^{-1} , así como el concepto de préstamos, donde se identificó una diferencia entre \$1.10 y \$2.68 ton^{-1} de caña.

REFERENCIAS

- Aguilar Rivera, N. (2014). Reconversión de la cadena agroindustrial de la caña de azúcar en Veracruz México. *Nova Scientia*, 6(12), 125-161.
<https://novascientia.lasallebajio.edu.mx/ojs/index.php/novascientia/article/view/37/10>
- Azañero Huacho, J.O. (2023). *Los costos operativos y su importancia en la gestión administrativa en empresa pesquera Jano Sociedad Anónima Cerrada 2022*. Facultad de Ciencias Económicas, Contables y Financieras, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho, Perú.
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/8536/REPOSITORIO%20INSTITUCIONAL.AZA%C3%91ERO%20%281%29%20%281%29%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Berenson, M.L., Levine, D.M. & Szabat, K.A. (2015). *Basic Business Statistics, Concepts and Applications* (13th Edition). London: Pearson.
- Calderón Araya, G. (2013). *Impacto de los costos de cosecha en la rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar en la región de Turrialba y Jiménez, Costa Rica*. Costa Rica. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar, Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar

(LAICA). San José, Costa Rica. <https://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/WqBWDBfdauKOEIpWVpjAQfclGrUMIfmc>

Cano Flores, M., Olivera Gómez, D., Balderrabano Briones, J. & Pérez Cervantes, G. (2013). Rentabilidad y competitividad en la PYME. *Ciencia Administrativa*, 2, 80-86. <https://cienciadministrativa.uv.mx/index.php/cadmiva/article/download/1661/3042>

Figueroa Rodríguez, K. A., García García, A. M. T., Mayett Moreno, Y., Hernández Rosas, F., & Figueroa Sandoval, B. (2015). Factores que explican el rendimiento de caña de azúcar a nivel municipal en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6), 1345-1358. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i6.581>

FIRA. (2024). *Caña de azúcar. Cierre de la producción 2023*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica Sectorial. México: FIRA. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=124177>

Fossati, G.J.R., Pérez, D., Paredes, V., Rodríguez, G., Ruiz, M., & de Boeck, G. (2023). Dinámica del precio nacional e internacional del azúcar entre 2001 y 2021. *Reporte Agroindustrial*, 232, 1-7. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/256825/CONICET_Digital_Nro.fd4fa24a-4227-47e8-acef-17834661d809_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Hanickel, G. J., Marra, R. M. A., & Lombardo, P. B. (2014). La importancia de los costos operativos en la toma de decisiones de los contratistas de servicios de maquinaria: el caso de la provincia de Córdoba. *Agronomía & Ambiente*, 34(1-2). <http://ri.agro.uba.ar/files/download/articulo/2014hanickel.pdf>

Kaneko, F.H., Tarsitano, M.A.A., Rapassi, R.M.A., Chioderoli, C.A. & Nakayama, F.T. (2009). Analise economica da producao de Cana-de-Açucar considerando-se a tercerização das operacoes agrícolas: O caso de um produtor. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 39(3), 266–270. <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/6017/5374>

Ochoa Triana, C.A., Marrufo García, R. D., & Ibáñez Rojas, L. A. (2020). Gestión de costos como herramienta de la rentabilidad en pequeñas y medianas empresas. *Revista Espacios*, 41(50), 287-298. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n50/20415020.html>

Ortiz Laurel, H., Salgado García, S., Castelán Estrada, M., & Córdova Sánchez, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(SPE4), 767-773. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3nspe4/v3nspe4a20.pdf>

Paré, L., Flores, L.G., Igartúa, G., Mestries, F. & Morett, J. (1987). *El Estado, los cañeros y la Industria Azucarera: 1940-1980*. México: UNAM.

- Santillán- Fernández, A.; Santoyo- Cortés, V. H.; García- Chávez, L. R. y Covarrubias- Gutiérrez, I. (2014). Dinámica de la producción cañera en México: Período 2000 a 2011. *Agroproductividad*, 7(6), 23-29. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/download/562/432/1014>
- Santochi E., Argüero Gómez L.R., Bustos J.C., Ávila O.E. & Squassi R.J. (2015). Costo de producción e indicadores de resultados económicos de la producción de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, Argentina Zafra 2015. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 35(2), 59-72.
- SEFIPLAN. (2023). *Cuadernillos Municipales. Paso del Macho*. Xalapa: Secretaría de Finanzas y Planeación, Gobierno del Estado de Veracruz. <http://cieg.gobiernodigital.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2023/08/Paso-del-Macho.CM.Ver.2023.2.pdf>
- Weihrich, H., Cannice, M. & Hanah, K. (2012). *Elementos de Administración*. México: McGraw-Hill.

OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO RENOVABLE AISLADO IMPLEMENTADO EN SONORA, MÉXICO

Alan Enrique Angulo Valenzuela¹

José Satsumi López Morales²

Francisco Javier Gómez González³

RESUMEN

Los sistemas híbridos de energía basados en energías renovables aislados para la electrificación rural se han convertido en una solución atractiva para áreas donde la electricidad de la red no es factible. Este artículo presenta un estudio de viabilidad tecno-económico de un sistema híbrido renovable aislado para suministrar electricidad a una comunidad rural en Sonora, México.

Hay zonas donde la presencia de las redes eléctricas de CFE presenta fluctuaciones, creando un problema en las poblaciones presentes en dichas zonas. El estado de Sonora recibe una abundante radiación solar, aunque no cuenta con una gran presencia de ráfagas de viento durante el año, esta región cuenta con una radiación solar promedio de 6.06 kWh/m²/día y una velocidad de viento promedio anual de 4.34 m/s.

Por lo que se utilizó el software HOMER PRO para analizar distintos sistemas renovables con componentes solares y eólicos. Se analiza el pueblo rural “La Democracia” en Sonora, que comprende 20 hogares con una demanda eléctrica diaria promedio de 178.396 kW y un pico de demanda de 17.14 kW. El sistema óptimo elegido fue solar-baterías-inversor ya que contaba con el costo neto total (NPC) y el costo de energía (COE) más bajos, de 98,297 USD y de 0.130 USD, respectivamente. Así mismo, tiene un 100% de fracción renovable y 0 kg de emisiones de CO₂ al año por lo que es amigable con el ambiente.

Palabras claves: HOMER, energía eólica, energía solar, escasez de energía

ABSTRACT

Hybrid energy systems based on isolated renewable energy sources for rural electrification have become an attractive solution for areas where grid electricity is not feasible. This article presents a techno-economic feasibility study of an isolated hybrid renewable system to supply electricity to a rural community in Sonora, Mexico.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz. jose.lm@veracruz.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Veracruz

There are areas where the presence of the CFE (Federal Electricity Commission) electrical grid fluctuates, creating a problem for the populations in these areas. The state of Sonora receives abundant solar radiation, although it does not experience significant wind gusts throughout the year. This region has an average solar radiation of 6.06 kWh/m²/day and an average annual wind speed of 4.34 m/s.

Therefore, the HOMER PRO software was used to analyze different renewable energy systems with solar and wind components. This study analyzes the rural village of "La Democracia" in Sonora, which comprises 20 households with an average daily electricity demand of 178.396 kW and a peak demand of 17.14 kW. The optimal system chosen was solar-battery-inverter, as it had the lowest net total cost (NPC) and cost of energy (COE), at USD 98,297 and USD 0.130, respectively. Furthermore, it has a 100% renewable energy fraction and zero annual CO₂ emissions, making it environmentally friendly.

Keywords: HOMER, wind energy, solar energy, energy scarcity

INTRODUCCIÓN

México cuenta con una posición privilegiada para el desarrollo de energías limpias, especialmente la eólica y la solar, las cuales han experimentado un crecimiento constante en la última década y se espera que continúen en esa tendencia en los próximos años. Desde 2020, el país tiene la obligación, conforme al Acuerdo de París, de reducir las emisiones del sector industrial y alcanzar un 35% de generación de energía limpia para 2024, con la meta de llegar al 43% antes de 2030. Así mismo, México se ha comprometido a disminuir en un 22% las emisiones de gases de efecto invernadero y en un 51% las emisiones de carbono negro. Actualmente, el 24% de la electricidad producida en el país proviene de fuentes renovables, con un crecimiento anual del 4.5%, de acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER, 2023).

Muchas personas en el planeta viven en zonas remotas o rurales que están físicamente aisladas de la red, especialmente en países en desarrollo. Sin un suministro constante de combustible, es muy difícil suministrar electricidad a estos lugares. También es vital encontrar soluciones híbridas basadas en energías renovables para electrificar comunidades rurales o fuera de la red, debido al desafío de llevar combustibles fósiles a regiones remotas y sus efectos ambientales negativos (Anas y Riza, 2023).

Para resolver esta problemática se han utilizado los sistemas híbridos renovables, el cual es un sistema eléctrico que usa múltiples fuentes de energías renovables, las cuales trabajan en conjunto para compensar las fluctuaciones de generación de energía que se tienen, el sistema puede incorporar un sistema de almacenamiento como baterías o incluso un sistema de respaldo como un generador diésel (Come *et al*, 2021) (Canale *et al*, 2021).

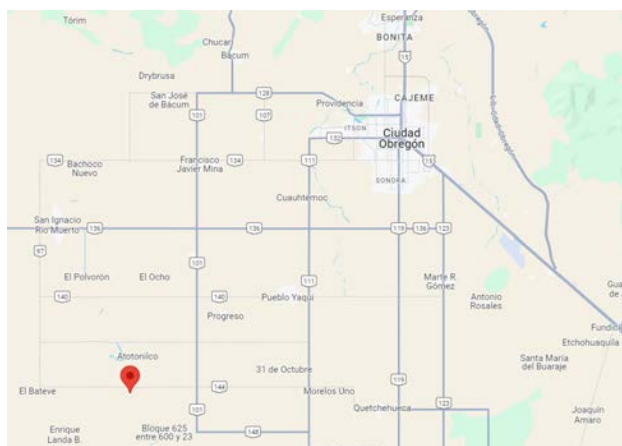
MATERIALES Y MÉTODOS.

La metodología se basó en la utilizada por (Kolhe *et al*, 2015) en la cual se utiliza el software HOMER Pro, una herramienta diseñada para modelar microsistemas energéticos con una o varias fuentes de energía. Este software permite encontrar la combinación de componentes más económica que cumpla con la demanda de energía eléctrica. HOMER evalúa miles de configuraciones posibles, optimiza los costos a lo largo del ciclo de vida del sistema y realiza análisis de sensibilidad para la mayoría de datos de entrada. Los principales indicadores considerados en el análisis incluyen el costo presente neto, el costo de la energía, la inversión de capital, los costos operativos y la proporción de energía renovable (García y Osma, 2023).

Área de estudio.

La ubicación del sistema es al suroeste del municipio de Cajeme, Sonora, específicamente en las coordenadas 27.277545, -110.177920, el cual alimentará a la población rural La Democracia (figura 1).

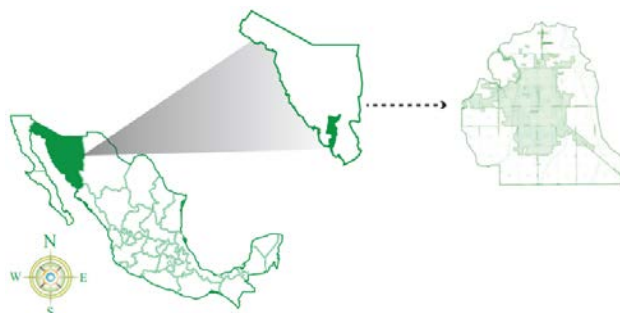
Figura 1. Ubicación del lugar de estudio (Google Maps, 2025)



La temperatura promedio anual es de 22°C. Los meses más calurosos son junio y julio, cuando las temperaturas pueden alcanzar los 47.5°C o más. En contraste, las temperaturas más frías, que rondan los -10°C, suelen registrarse en enero y febrero. Las lluvias son poco frecuentes y ocurren principalmente en verano, con una precipitación anual promedio de 360 mm, lo que hace necesario el uso de riego para la agricultura (INEGI, 2024).

La zona se identifica por estar dentro de la zona agrícola del Valle del Yaqui (figura 2), la cual se caracteriza por su alto nivel de producción agrícola desde la época de la Revolución Verde (Parra *et al*, 2022), por lo que es de esperar que la mayoría de los pobladores de La Democracia se dediquen a la agricultura. Al encontrarse alejado de la ciudad más cercana puede ser posible el tener fluctuaciones de energía, por lo que se optó por implementar un sistema híbrido renovable para sustituir esta red eléctrica.

Figura 2. Ubicación geográfica del Valle del Yaqui, Sonora, México (de los Santos y Parra, 2023)



Recopilación de datos.

Para caracterizar la demanda se tiene un número total de casas y estas se separan en 3 distintas categorías (tipo 1, tipo 2 y tipo 3), cada una con distintos aparatos eléctricos y por ende distintos consumos, cada una de las familias es categorizada en uno de estos tres tipos, obteniendo al final una demanda diaria de todo el pueblo.

El pueblo cuenta con un total de 20 familias, las familias fueron separadas en 3 tipos diferentes:

- Familia tipo 1, considerada como la familia más pobre, cuenta con 3 focos, un televisor, un ventilador, un refrigerador y una plancha, teniendo como demanda diaria 6.226 kW (cuadro 1).
- Familia tipo 2, considerada como la familia clase media, cuenta con 3 focos, un televisor, un aire acondicionado, un ventilador, un refrigerador y una plancha, teniendo una demanda diaria de 9.846 kW (cuadro 2).
- Familia tipo 3, considerada como la familia rica, cuenta con 4 focos, un televisor, un aire acondicionado, un ventilador, un refrigerador y una plancha, obteniendo una demanda diaria de 12.118 kW (cuadro 3).

Cuadro 1. Levantamiento de cargas de familia tipo 1.

Familia tipo 1				
Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso	Demanda (Wh)
Focos	3	12	6	216
Televisión	1	300	4	1200
Ventilador	1	60	6	360
Refrigerador	1	500	8	4000
Plancha	1	1800	0.25	450
				6226

Cuadro 2. Levantamiento de cargas de familia tipo 2.

Familia tipo 2				
Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso	Demanda (Wh)
Focos	3	12	6	216
Televisión	1	300	4	1200
A/C	1	950	4	3800
Ventilador	1	60	3	180
Refrigerador	1	500	8	4000
Plancha	1	1800	0.25	450
				9846

Cuadro 3. Levantamiento de cargas de familia tipo 3.

Familia tipo 3				
Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso	Demanda (Wh)
Focos	4	12	6	288
Televisión	1	300	5	1500
A/C	1	950	6	5700
Ventilador	1	60	3	180
Refrigerador	1	500	8	4000
Plancha	1	1800	0.25	450
				12118

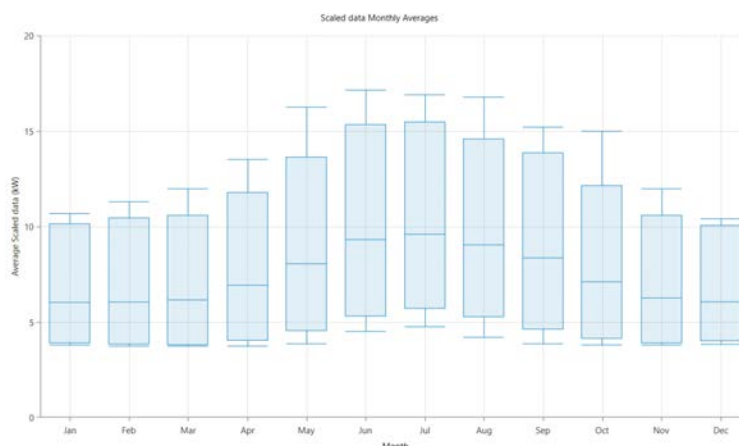
Así mismo se considera que de las 15 familias se tienen 7 familias tipo 1, 10 familias tipo 2 y 3 familias de tipo 3, teniendo en todo el pueblo una demanda total diaria de 178.396 kW (cuadro 4), teniendo un promedio de demanda de 7.43 kW y un pico de demanda de 17.14 kW.

Cuadro 4. Demanda diaria del pueblo “La Democracia”.

Tipo de familia	Cantidad	Demanda unitaria (Wh)	Demanda Total (Wh)
1	7	6226	43582
2	10	9846	98460
3	3	12118	36354
		Total	178396 W
		Total	178.396 kW

Así mismo, al ser una población dedicada a la agricultura se cuenta con un perfil de demanda que cuenta con un pico en la mañana, cuando están todos los habitantes, luego se tiene consumo más pequeño a lo largo del día, cuando la mayoría de los pobladores han ido a trabajar, para terminar con un pico grande al final del día cuando los trabajadores han vuelto a sus casas y prenden sus ventiladores y/o aire acondicionado para dormir (figura 3). Es importante mencionar que por el clima árido que se tiene todas las familias cuenta con, mínimo, un aparato para refrescarse, siendo este un ventilador o aire acondicionado. En consecuencia de esto, se puede apreciar que las demandas mensuales se incrementan en los meses de verano (mayo, junio, julio y agosto) ya que en estos meses es cuando se tiene un mayor uso de los aparatos de refrigeración (figura 4).

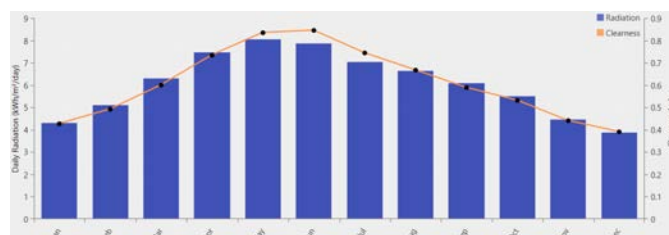
Figura 4. Demandas mensuales de la población.



Es necesario evaluar el recurso energético que se tiene, al utilizar sistemas fotovoltaicos y sistemas eólicos, es importante analizar la radiación solar, la velocidad de viento de la zona y la temperatura, estos datos fueron obtenidos de la base de datos de NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) analizando los datos horarios de los años 2013 a 2023, obteniendo un valor promedio para cada hora del año y que estos puedan ser utilizados en los cálculos.

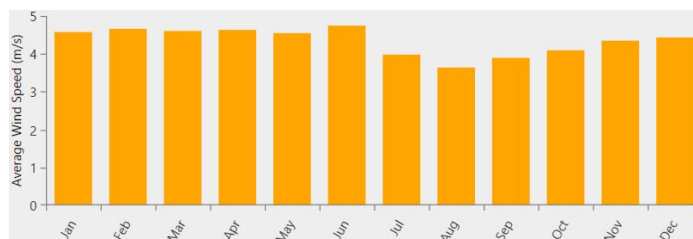
Se cuenta con una radiación solar promedio a lo largo del año de 6.06 kWh/m² teniendo la radiación promedio más baja en el mes de diciembre con 3.869 kWh/m² y la radiación promedio más alta en el mes de mayo con 8.044 kWh/m² (figura 5).

Figura 5. Radiación solar mensual en el lugar de estudio.



La velocidad de viento presente en el sitio tiene un valor promedio anual de 4.34 m/s, con el promedio mensual más bajo en agosto con 3.634 m/s y un promedio mensual más alto en junio con 4.733 m/s (figura 6).

Figura 6. Velocidad de viento promedio mensual en el lugar de estudio.



Se tiene una temperatura promedio anual de 25.37°C, teniendo la temperatura mensual más baja en el mes de enero con 18.234°C y la temperatura mensual más alta en junio con 31.62°C (figura 7).

Figura 7. Temperatura promedio mensual en el lugar de estudio.

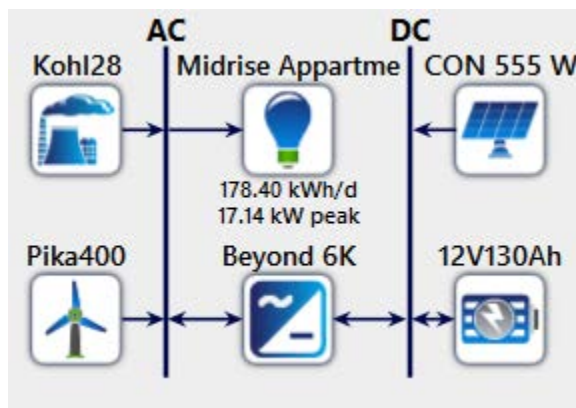


Arquitectura del sistema propuesto.

Dado que la región seleccionada recibe una importante irradiación solar y energía eólica durante todo el año, los sistemas fotovoltaicos y las turbinas eólicas serían soluciones viables para desarrollar un sistema de electrificación rural para esta región. En los sistemas híbridos aislados, se suele utilizar un

banco de baterías y un generador diésel, por lo tanto, se ha seleccionado un sistema híbrido renovable fotovoltaico-eólico-baterías-generador diésel (figura 8) para un análisis más profundo.

Figura 8. Esquema del sistema híbrido propuesto.



Así mismo se presenta un cuadro de los costos de los componentes principales del sistema (cuadro 5), donde se aprecia la marca, modelo, capacidad, costo de capital, costo de operación y mantenimiento (O&M) y tiempo de vida de cada uno de los componentes, todos los costos aparecen en dólares.

Cuadro 5. Costos de componentes del sistema.

Componente	Marca	Modelo	Capacidad	Costo capital	Costo O & M	Vida útil
Generador diésel	Kohler	Kohler 28 kW	28 kW	16,000 USD	0.9 USD/hora	15,000 horas
Turbina eólica	Pikasola	P-WTGK-400W-12V	0.4 kW	300.56 USD	15 USD/hora	20 años
Inversor	Connera	Beyond 6KM2/2	6 kW	700.84 USD	-	20 años
Baterías	Connera	BATT12-130GEL	130 Ah	358.66 USD	10 USD/año	12 años
Paneles solares	Connera	Connera-555M	0.555 kW	106.22 USD	2.12 USD/año	25 años

Otros datos de entrada.

El proyecto se considera en un plazo de 20 años y el precio de diésel se considera de 1.25 USD/litro. Se consideran dos estrategias de despacho distintas para el generador diésel que pueden ser modeladas en HOMER: carga cíclica (CC) y seguimiento de carga (LF). Las estrategias de despacho definen la operación y el control del generador de diésel en función de la energía requerida por la carga y potencia generados por otros componentes del sistema.

En estrategia de carga cíclica, el generador funciona a su capacidad nominal cuando se requiere encender y el exceso de energía se utiliza para cargar las baterías. En la estrategia de seguimiento de carga, el generador diésel genera solo la cantidad necesaria de energía para cumplir con la demanda que no puede ser satisfecha por los sistemas de energía renovable y el banco de baterías cuando funciona.

La mejor estrategia de despacho se elige en función de la disponibilidad de recursos renovables y los precios del diésel, así como de la eficiencia de conversión de combustible del generador. La simulación HOMER puede determinar la mejor estrategia de despacho (Kolhe et al, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se han realizado simulaciones HOMER para varias configuraciones de sistemas híbridos. HOMER calcula el costo neto total (NPC) de todos los sistemas factibles y los muestra en los resultados de optimización, clasificándolos en orden ascendente de NPC. El sistema con la menor presencia de NPC es la configuración híbrida óptima.

En la figura 9 se aprecian los principales resultados obtenidos en HOMER. Como se muestra en los resultados de optimización, un sistema solar-inversor-baterías con un sistema fotovoltaico de 54.8 kW, 119 baterías y 3 inversores, con una estrategia de despacho de carga cíclica termina siendo la opción más óptima, es importante recalcar también que este sistema cuenta con una fracción renovable de 100% ya que no cuenta con generador diésel y emite 0 kg/año de CO₂, por lo que también es la opción óptima ambientalmente hablando. El sistema cuesta aproximadamente 98,297 USD y este sistema híbrido puede suministrar electricidad a un costo de energía (COE) de 0.130 USD. Esto se puede comparar con el sistema energético de sólo un generador diésel que cuenta con un NPC de 620,096 USD, un COE de 0.822 USD y un total de 28, 452 litros de diésel utilizados al año. Teniendo una fracción renovable de 0% y 74,574 kg/año de CO₂ al solo utilizar el diésel.

Figura 9. Resultados de optimización.

Architecture										Cost				System		
    	CON 555 W (kW)	Pika400	Kohl28 (kW)	12V130Ah	Beyond 6K (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	CO ₂ (kg/yr)			
   	54.8			119	18.0	CC	\$98,297	\$0.130	\$2,806	\$65,801	100	0	0			
    	62.2	1		116	18.3	CC	\$99,492	\$0.132	\$2,797	\$67,099	100	0	0			
   	53.1		28.0	107	18.3	LF	\$106,914	\$0.142	\$2,552	\$77,359	99.0	258	675			
    	53.6	1	28.0	107	18.2	LF	\$107,926	\$0.143	\$2,571	\$78,152	99.1	246	646			
   			28.0			CC	\$620,096	\$0.822	\$52,166	\$16,000	0	28,452	74,574			

Estos resultados se pueden comparar con los siguientes sistemas:

Algunos ejemplos de estos sistemas los encontramos a continuación:

Un sistema aislado híbrido renovable solar-viento-generador-baterías dimensionado en Sri Lanka, en el cual se creó un perfil de demanda de una aldea con un consumo diario de 270 kWh, se investigó su radiación solar y recurso eólico y se procedió a dimensionar el sistema con ayuda del software HOMER PRO, obteniendo un COE de 0.3 USD/kWh y un NPC de 553.102 USD (Kolhe et al, 2015).

Un sistema solar-baterías-generador implementado en Kabuiri, Nigeria con un perfil de demanda con un consumo diario de 610 kWh, utilizando el software HOMER PRO se buscó un sistema con un 99% de fracción renovable, se obtuvo un COE de 0.093 USD/kWh, un NPC de 266.709 USD y un costo de

operación anual de 9,110 USD. Además se contribuyó con 1,624 kg CO₂ eq/año de potencial de calentamiento global y 56.81 kg O₃ eq/año de formación de smog durante la operación (Lewis *et al*, 2024).

Se analizó en el sur de Sumatra, Indonesia el uso de un sistema híbrido que podría combinar algunas de las siguientes tecnologías: hidro, solar, eólico, biomasa y baterías para alimentar una villa con una demanda diaria de 10.50 kWh. El sistema con un NPC más pequeño fue el hidro-baterías-convertidor con un valor de \$302,899, un costo inicial de 229,865 USD y un COE de 0.388 USD/kWh, mientras que el más costoso fue el sistema hidro-viento-solar-biomasa-baterías-convertidor con un NPC de 683,777 USD, un costo inicial de 625, 182 USD y un COE de 0.876 USD/kWh (Arif *et al*, 2023).

En Siirt, Turquía se simuló un sistema híbrido solar-eólico-generador diésel- baterías para alimentar una demanda de 39.74 kWh/día con un pico de 4.72 kW. Se utilizó el software HOMER PRO para investigar el mejor diseño y los mejores parámetros para los sistemas generadores de electricidad, esto se hizo comparando su NPC y su COE. El mejor sistema cuenta con un NPC de 49.032 USD y un COE de 0.0281 USD/kWh (Anas y Riza, 2023).

Por último, tenemos un sistema híbrido en Kg. Sabur Pulau Banggi, Malasia el cual debe alimentar una demanda diaria de 888 kWh con un pico de 120.62 kW, se analizan 4 sistemas diferentes en el software HOMER PRO, sistema 1: eólico-solar-generador-baterias-convertidor, sistema 2: eólico-generador-baterías-convertidor, sistema 3: solar-generador-batería-convertidor y el sistema 4: generador-bateria-convertidor. El sistema 1 resulta el más óptimo, con un NPC de 878,577 USD, un COE de 0.2098 USD/kWh y un costo de capital de 460,635 USD (Kumar *et al*, 2023).

El NPC depende de la potencia instalada por lo que la mejor base que tenemos para comparar los sistemas es el COE, comparando nuestro sistema con los sistemas expuestos encontramos un COE relativamente bajo, siendo el tercer sistema más barato de los 6 sistemas, lo que lo vuelve un sistema atractivo económicamente hablando, también hay que tomar en cuenta que incluye un valor agregado al ser un sistema 100% renovable.

CONCLUSIONES.

El estudio presenta el dimensionamiento para un sistema híbrido renovable aislado, los resultados de la simulación del sistema sugerido indican que un sistema híbrido con una instalación fotovoltaica de 54.8 kW, 119 baterías de 130 Ah y 3 inversores de 6 kW, con una estrategia de despacho de carga cíclica es el sistema óptimo para la zona de estudio. Lo que nos da a entender que el recurso eólico que se tiene en la zona es muy limitado, mientras que el recurso solar es abundante. Así mismo este

sistema cuenta con un NPC de \$98.297 y un COE de \$0.130, teniendo un 100% de fracción renovable y 0 kg de emisiones de CO₂ al año.

REFERENCIAS

- Secretaría de Energía (SENER). (2023). Prospectiva del Sector Eléctrico 2019-2033. Gobierno de México. Recuperado el 20 de marzo de 2025 de <https://www.gob.mx/sener/documentos/prospectiva-del-sector-electrico-2019-2033>
- Come, E.I., van der Windt, H.J., Nhumaio, G. y Faaij, A. (2021) A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, 111036.
- Canale, L., Di Fazio, A.R., Russo, M., Frattolillo, A. y Dell'Isola, M. (2021) An Overview on Functional Integration of Hybrid Renewable Energy Systems in Multi-Energy Buildings, *Energies* 2021, 14, 1078.
- Google Maps (2025) La Democracia. Recuperado el 20 de marzo de 2025 de https://www.google.com/maps/place/La+Democracia,+85518+Son./@27.2894175,-110.2027416,1508m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x86c82eee474b70a3:0x5898cdf3eacd ea99!8m2!3d27.2909647!4d-110.2050359!16s%2Fg%2F1hf19b1_4?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDMxOC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D
- INEGI (2024) Aspectos geográficos de Sonora. Compendio 2022, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- De los Santos, S. y Parra, F. (2023) Tecnologías para una producción sostenible de trigo: El caso del Valle del Yaqui, México (Editorial Fontamara).
- Anas, Z. & Riza, I. (2023) Potential Use of Stand-alone PV-Wind-Diesel-Battery Hybrid Energy System in a Remote Area in Turkey Using HOMER, *IAR J ENG Tech*, 4(5), 10-23.
- Arif, R., Arief, Y., Wilyanti, S., Pangestu, A., Al-Hakim, R. (2023) Using HOMER Simulation Method for Renewable Energy Power Generation Design in South Sumatra Indonesia. *International Journal of Sustainability in Research (IJSR)*, 1(2), 2023, 73-92.
- Kolhe, M., Iromi, K. & Sisara, A. (2015) Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 11 (2015), 53-64.

- Kumar, Y., Makmud, M., Hamid, A., Rahman, A, Mikson, M. & Salleh, S. (2023) Feasibility study on electricity generation in Kg. Sabur Pulau Banggi Malaysia from wind energy using HOMER software. (Paper presentado en la 6th International Conference on Clean Energy and Technology 2023), 1281, 012031.
- Lewis, C., Ijeoma, M., Yakubu, R., Chukwu, B., Chen, H. & Carbajales, M. (2024) Achieving universal energy Access in remote locations using HOMER energy model: a technoeconomic and enviromental analysis of hybrid microgid systems for rural electrification in northeast Nigeria. *Front. Energy Res.* 12:1454281.
- García, J. y Osma, G. (2023) Dimensionamiento y análisis de sensibilidad de una microrred aislada usando HOMER Pro, *TecnoLógicas*, vol. 26, no. 56, e2565.
- Parra, O., Ávila, M., Álvarez, J. y Sánchez, Z. (2022) Use of nitrogen fertilizers in the Yaqui Valley: a compilation of three decades of knowledge. *INvestigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México*, pp. 94-107, Pantanal Editora.

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO EN EL SECTOR HOTELERO DE VALLADOLID, YUCATÁN: DIAGNÓSTICO Y ESTRATEGIAS

Diana Aracelly Loria Arjona¹

Nelly del Rosario Chan Perera²

Mirna Yamili Yam Puc³

RESUMEN

En el estado de Yucatán no se presenta una escasez de agua pero la gestión ineficiente del recurso en los diferentes sectores puede tener un impacto ambiental negativo. El proyecto se enfoca en la problemática del uso y consumo del agua en el sector hotelero en Valladolid Yucatán, el cual es un pueblo mágico con alta demanda turística, lo que conlleva a un aumento de la demanda hídrica. Este estudio tiene como finalidad diagnosticar los patrones del uso del agua en diferentes hoteles, identificar áreas de oportunidad de mejora, proponer prácticas eficientes y realizar propuestas de programas de concientización mediante estrategias de optimización del recurso hídrico y la implementación de tecnologías de bajo consumo. Se realizaron encuestas a los gerentes o responsables de 60 hoteles de categorías 3, 4 y 5 estrellas, el cuestionario se dividió en tres secciones: datos generales, consumo de agua e impacto ambiental para determinar el análisis de consumo de eficiencia del agua y su potencial. Como resultado se obtuvo el porcentaje de consumo del agua en los hoteles, la propuesta de tecnologías y prácticas de concientización de uso responsable del agua.

Palabras clave: gestión del agua, sector hotelero, sostenibilidad

ABSTRACT

While the state of Yucatán does not experience water scarcity, inefficient water management across various sectors can have a negative environmental impact. This project focuses on the problem of water use and consumption in the hotel sector in Valladolid, Yucatán, a "Pueblo Mágico" (Magical Town) with high tourist demand, which leads to increased water demand. This study aims to diagnose water usage patterns in different hotels, identify areas for improvement, propose efficient practices, and develop awareness programs through strategies for optimizing water resources and implementing low-consumption technologies. Surveys were conducted with managers or supervisors of 60 hotels in the 3, 4, and 5-star categories. The questionnaire was divided into three sections: general information,

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Valladolid. diana.la@valladolid.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Valladolid. nelly.cp@valladolid.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Valladolid. mirna.ya@valladolid.tecnm.mx

water consumption, and environmental impact, to determine the analysis of water consumption efficiency and its potential. The results yielded the percentage of water consumption in the hotels, along with proposed technologies and awareness practices for responsible water use.

Keywords: water management, hotel sector, sustainability

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para diversas actividades para el ser humano, principalmente para el desarrollo económico, social y ambiental pero especialmente en regiones con alta actividad turística como Valladolid, Yucatán. El crecimiento del sector hotelero en la ciudad, impulsado por el turismo cultural y de naturaleza, ha incrementado la demanda de agua, generando presiones sobre los mantos acuíferos locales. Esta situación plantea la necesidad de implementar estrategias de gestión sostenible que permitan optimizar el consumo hídrico sin afectar la calidad del servicio ofrecido a los visitantes. El proyecto busca realizar un diagnóstico del uso actual del agua en hoteles de Valladolid, identificar prácticas ineficientes y proponer estrategias de optimización, buenas prácticas ambientales y modelos de gestión sustentable. El propósito es contribuir a la preservación de los recursos hídricos de la región y fomentar un turismo responsable que fortalezca la competitividad del destino.

MARCO TEÓRICO

El agua es un recurso cuya disponibilidad representa un problema para diversos países, especialmente en aquellos donde las industrias dependen de ella para poder producir. Un ejemplo de estrategia aplicada es la reutilización de aguas residuales en Israel, el 91 % del agua residual se reutiliza: después de pasar por procesos de filtración y limpieza, se inyecta en un acuífero natural para una última depuración. Posteriormente, es extraída y distribuida principalmente hacia las poblaciones del sur, en el desierto del Néguev (Castagno, 2019, p. 7).

De igual manera, se menciona el cuidado del agua y su aprovechamiento en los hoteles mediante prácticas como la captación de aguas pluviales para otros usos, la instalación de aparatos de bajo consumo y la promoción de una cultura del agua, son aspectos fundamentales para una gestión responsable del recurso en el sector hotelero (Hostelpro, 2025).

De acuerdo con agua.org (2023), en algunas zonas turísticas de México, se estima que el consumo de agua por persona es de 300 litros diarios. Esto podría indicar la alta demanda de este recurso por parte de la industria hotelera en el país, por lo que es fundamental tomar medidas para su mejor aprovechamiento. Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales permite la limpieza y reincorporación de este recurso a los mantos acuíferos o a los sistemas de agua potable. Así, teniendo

en cuenta la cantidad de agua utilizada por los hoteles (en albercas, spa, alimentos, tinas, regaderas), las plantas de tratamiento se han convertido en un pilar fundamental para impulsar la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en el sector, así como para combatir el desperdicio de agua y hacerle frente a su escasez.

Santacruz De León y Santacruz De León (2020) señalan que:

lo que puede verse es que los ordenamientos legales y de sustentabilidad en relación con los impactos socio - ambientales que provoca el sector turístico en México, marchan en vías diferentes. Si bien se han establecido estrategias o mecanismos de solución, éstas no son del todo estructurales. Por ejemplo, se plantea la incorporación de tecnologías de ahorro de agua, que contribuyan a reducir los impactos en las fuentes y por otro lado debe, de acuerdo con la normatividad ambiental vigente en México, implementar sistemas de tratamiento de agua residual, así como la reutilización de esta. (p. 130).

En el estado de Sonora el principal usuario del agua no es el ciudadano común ni la población urbana, ya que solo el 11 % del recurso se destina al abastecimiento público, en contraste con la actividad agrícola, que utiliza el 87.25 %. Sin embargo, Sonora ocupa la quinta posición en producción de agua para consumo humano, solo por debajo del Estado de México, la Ciudad de México, Nuevo León y Jalisco (Sepúlveda et al.,2023, p. 634).

Acosta et. al (2020, p.9) en una investigación realizada sobre el consumo de agua en hoteles de la ciudad de Guanajuato-México; brindaron entre sus resultados que el consumo promedio de un turista es de 233 litros diarios; mientras que la zona costera de Cancún está alrededor de los 550 litros. En los Hoteles de playa de Palma de Mallorca se realizó un estudio similar dando como resultados que un turista necesita 440 litros por día y en hoteles de lujo puede alcanzar los 880 litros por día. En China señala que estos valores pueden alcanzar hasta 950 litros por día. En la tabla 1 y 2 se muestran los resultados del estudio tomando en cuenta la categoría por hotel y el número de habitaciones respectivamente.

Tabla 1.Consumo promedio de agua por turista/día tomando en cuenta la categoría del Hotel

Categoría del Hotel	Consumo promedio de agua por turista (litros/día)
5	225,9
4	221,46
3	174,86
2	127,87

Fuente: Acosta et al. (2020) “Estado del arte sobre los principales indicadores de consumo en el Sector Hotelero”, Investigación y Desarrollo en TIC.

Tabla 2. Consumo promedio de agua por turista/día tomando en cuenta el número de habitaciones

Número de habitaciones	Consumo de agua por turista (litros/día)
Menos de 300	179
300- 500	187,16
500-1000	172,19
Más de 1000	151,65

Fuente: Acosta et al. (2020) “Estado del arte sobre los principales indicadores de consumo en el Sector Hotelero”, Investigación y Desarrollo en TIC.

De acuerdo con Bautista-Mayorga et al., (2024) el consumo de agua va en proporción de los turistas que llegan a los hoteles, así como de la categoría a la que pertenecen, es necesario implementar medidas de cultura del agua, aparatos de bajo consumo.

Los investigadores Warren, Becken y Coghlan (2017) citado por Suárez et al (2022) señalan que la intervención de los hoteles con respecto a sus huéspedes puede cambiar sus comportamientos de consumo, al menos dentro del establecimiento. Como herramienta para impulsar dicha transformación en el consumo, los investigadores encontraron útil la comunicación persuasiva; una de las prácticas que implementaron los hoteles analizados fue suministrar a sus huéspedes recomendaciones específicas de cómo reducir el consumo de agua, lo cual logró una disminución del consumo. P.21

INEGI (2020) manifiesta que la península de Yucatán muestra un crecimiento económico y poblacional durante la última década, principalmente en las zonas urbanas con una población de 2,786,348 habitantes. Este desarrollo no ha sido coherente con las estrategias implementadas en el manejo de aguas residuales ni con el crecimiento habitacional de las construcciones de viviendas y obras municipales, locales y nacionales, entre las que se encuentra el proyecto del Tren Maya.

Por su parte, el Programa Hídrico Regional 2020-2024 declara que la península de Yucatán no se caracteriza por ser una región con una gran actividad industrial. Sin embargo, Figueroa-Zavala, (2015) citado por Yépez (2021) menciona que la zona Norte del estado de Quintana Roo presenta una presión sobre la disponibilidad de 143% esto es debido a la gran industria turística que existe en dicho estado, la cual recibe a millones de turistas durante todo el año. Este gran flujo de turistas nacionales y extranjeros ha generado un consumo excesivo de agua y el incremento en las descargas de aguas residuales.

METODOLOGÍA

El estudio que se presenta es descriptivo, dado que determina las características y comportamientos de los hoteles encuestados. La información recolectada permitió realizar un diagnóstico del consumo de agua en dicho sector de la ciudad de Valladolid.

Para el cálculo de la muestra se utilizó la fórmula de tamaño de muestra:

$$n = (Z^2 * p * q) / e^2$$

donde:

n: es el tamaño de la muestra.

Z: es el valor correspondiente al nivel de confianza deseado

p: es la proporción esperada de la característica en la población

q: es igual a 1 - p.

e: es el margen de error aceptable (expresado como decimal).

Considerando una población de 70 hoteles, un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, se obtuvo un tamaño de muestra total de 60 hoteles como muestra representativa.

Como instrumento de recolecta de datos se utilizó una encuesta, clasificada en tres áreas principales:

- Datos generales contiene 6 ítem
- Consumo de agua 16 ítems
- Impacto ambiental 10 ítems

El cuestionario se aplicó a los encargados de los hoteles y contemplando que los hoteles cuentan con una categoría de 3, 4 o 5 estrellas.

RESULTADOS

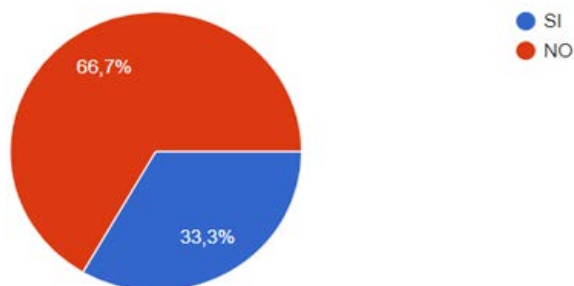
De manera general, se obtuvieron los resultados siguientes:

- El 58.3 % de los establecimientos son hoteles, el 38.3 % corresponde a hoteles boutique y el porcentaje restante pertenece a otro tipo de alojamientos.
- En cuanto a la categoría, el 46.7% de los hoteles es de 3 estrellas, seguido por un 25% de 5 estrellas y un 20 % de 4 estrellas.
- Respecto a los servicios, el 61.7 % de los hoteles cuenta con lavandería y el 41.7 % con restaurante.
- En relación con el recurso hídrico, el 100 % de los hoteles dispone de servicio de agua potable entubada, mientras que el 33 % cuenta además con pozos (ver figura 1).
- Finalmente, el 33.3 % de los establecimientos dispone de un plan integral de gestión del agua (ver figura 2).

Figura 1. Principal fuente de consumo de agua de los hoteles

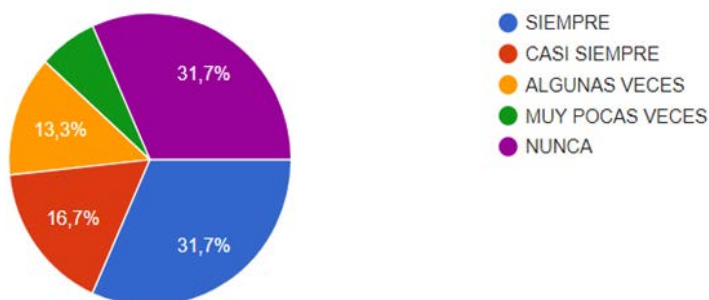


Figura 2. Hoteles que cuentan con un plan integral de agua



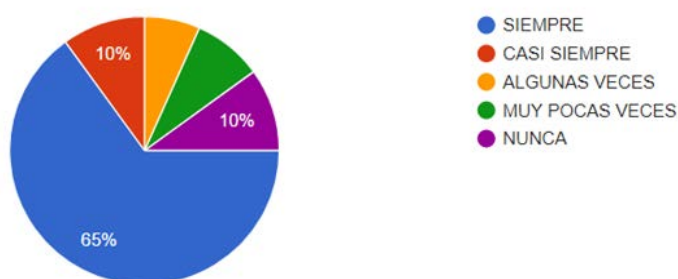
Como se puede observar, la mayoría de los hoteles no dispone de un plan integral de gestión del agua, por lo que resulta necesario promover su implementación.

Figura 3. Hoteles que reutilizan el agua



Como se observa en la figura 3, sólo el 31.7 % de los hoteles siempre reutiliza el agua, mientras que el mismo porcentaje nunca la reutiliza. Esto representa un punto para atenderse.

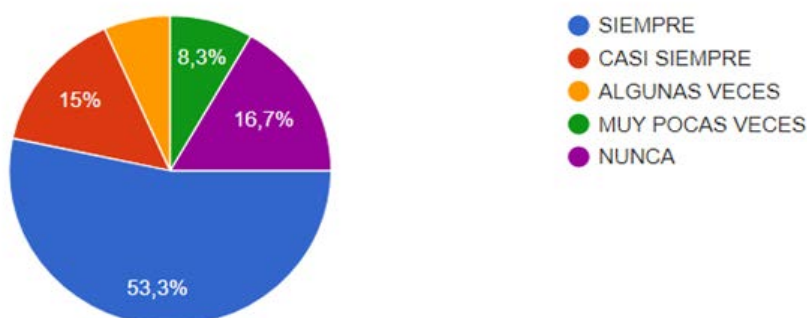
Figura 4. Porcentaje de hoteles que promueven el cuidado del agua.



En la figura 4 se tiene que en la mayoría de los hoteles se promueve el cuidado del agua, pero también es importante considerar que en los demás no se hace, pero es un área de oportunidad para trabajar en ello.

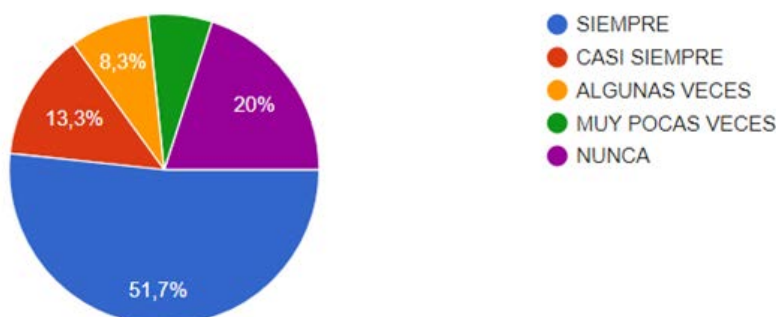
Ambiental

Figura 5. Promueve un plan de reducción del agua solicitando al huésped la reducción del lavado al día de toallas



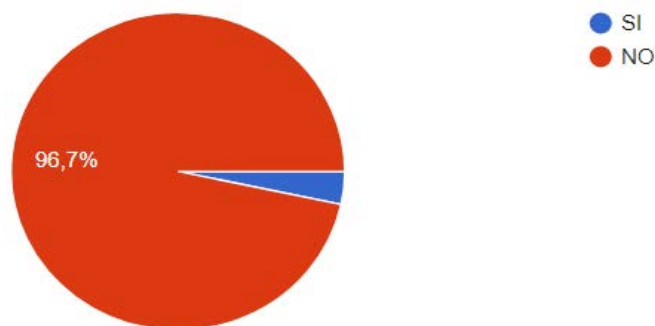
De acuerdo con los resultados mostrados en la figura 5, en la mayoría de los hoteles se promueve la participación del huésped en la gestión del recurso hídrico mediante la opción de decidir la frecuencia de lavado de toallas y sábanas. Esta práctica se reconoce como una medida de eficiencia operativa que contribuye a la reducción del consumo de agua en los procesos de lavandería. Asimismo, representa una estrategia de gestión ambiental que fomenta la sostenibilidad en el sector hotelero al disminuir la presión sobre los sistemas de abastecimiento y fortalecer la cultura del uso responsable del agua.

Figura 6. Se promueve el plan de reducción de agua por medio de solicitud al huésped de uso de sábanas al día.



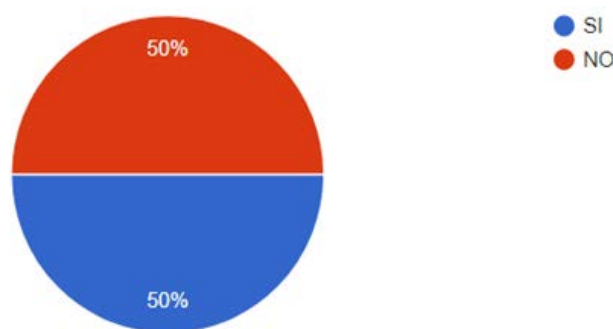
En más de la mitad de los hoteles se promueve un plan de reducción del consumo de agua mediante la solicitud al huésped de decidir sobre el uso diario de sábanas, lo que indica que estas instalaciones están adoptando medidas activas de gestión sostenible del recurso hídrico y fomentan la participación del huésped en prácticas responsables de ahorro de agua (ver figura 6).

Figura 7. El hotel cuenta con un sistema de captación de aguas de lluvia



Como se observa en la figura 7, los hoteles no cuentan con sistemas de captación de agua de lluvia como alternativa de almacenamiento ni como parte de sus prácticas ambientales, lo que representa una oportunidad para implementar estrategias de sostenibilidad que reduzcan el consumo de agua potable y fortalezcan la gestión responsable del recurso hídrico.

Figura 8. El hotel cuenta con regaderas ahorradoras



La mitad de los hoteles cuentan con regaderas ahorradoras (ver figura 8); sin embargo, no todos las han implementado plenamente, por lo que es necesario fomentar su adopción generalizada. Esto permitiría reducir de manera significativa el consumo de agua en las instalaciones, mejorar la eficiencia en el uso de este recurso y fortalecer las prácticas de sostenibilidad ambiental dentro del sector hotelero.

Dentro de las áreas de oportunidad y mejora identificadas en los hoteles, se propone la implementación de estrategias de concientización y uso eficiente del recurso hídrico. Una de ellas consiste en la colocación de señalética en las entradas de las habitaciones (ver Figura 9), complementada con un mensaje de la recepcionista al momento del registro, informando a los huéspedes que el hotel promueve el cuidado del agua e invitándolos a seguir las recomendaciones establecidas en las instalaciones.

Figura 9. *Diseño de estrategias*



CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados sobre la gestión del agua en los hoteles, se observa que, aunque se han implementado algunas medidas de eficiencia hídrica — como la reutilización del agua, la promoción del uso responsable de toallas y sábanas, y la instalación de regaderas ahorradoras—, su adopción no es uniforme ni generalizada. Asimismo, solo un pequeño porcentaje de hoteles cuenta con planes integrales de gestión del agua, y la participación de los huéspedes en estas estrategias continúa siendo limitada.

Estos hallazgos reflejan la existencia de amplias oportunidades para mejorar la sostenibilidad en el sector hotelero, principalmente a través de la implementación sistemática de tecnologías de ahorro, la capacitación del personal en programas ambientales orientados al uso eficiente del recurso y el fortalecimiento de la cultura organizacional. De igual manera, resulta fundamental impulsar la concientización de los huéspedes respecto al consumo responsable del agua, con el fin de consolidar un modelo de gestión hídrica más sostenible.

En cuanto a las acciones técnicas de eficiencia hídrica, se recomienda la instalación de sanitarios y regaderas de bajo consumo, la implementación de medidores inteligentes, la adquisición de equipos de lavandería de alta eficiencia, así como la adopción de sistemas de captación de agua pluvial y el reuso de aguas grises para actividades secundarias.

La adopción de estas medidas no solo contribuiría a la reducción del consumo de agua potable, sino que también fortalecería la cultura ambiental y la gestión sostenible del recurso hídrico en la industria hotelera.

REFERENCIAS

- Acosta Jaraba, M.; K. Correar Pérez, G.; Figueroa Cantillo, M.; Morales Sánchez, X. Soto Mares, H. y Hernández Herrera. (2020) “Estado del arte sobre los principales indicadores de consumo en el Sector Hotelero”, Investigación y Desarrollo en TIC, vol. 11, no. 2, pp. 1-13
- Agua.org.mx. (2023). *Turismo sostenible: tratamiento de aguas residuales como estrategia contra la escasez*. Recuperado de https://agua.org.mx/columna_rotoplas/turismo-sostenible-tratamiento-de-aguas-residuales-como-estrategia-contra-la-escasez/
- Bautista-Mayorga, Fidel, García-Salazar, José Alberto, Mora Flores, José Saturnino, Almeraya Quintero, Silvia Xochilt, & Borja Bravo, Mercedes. (2024). El turismo como consumidor de agua: el caso de los hoteles de Tijuana (México).
- Castagno, R. (2019) Sistema de gestión para optimizar el consumo de agua en quebrada blanca. Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería industrial
- Hostelpro (2025). Gestión hídrica en hoteles: avances y desafíos clave. <https://revistahostelpro.com/comunicados/gestion-hidrica-en-hoteles-avances-y-desafios-clave>
- INEGI (2020). Censo de población y vivienda. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Resultados_generales.
- Programa Hídrico Regional 2020-2024. Micrositio para la elaboración e implementación del Programa Hídrico Regional 2020-2024 de la Península de Yucatán
- Presentación de resultados. Disponible en: <https://sites.google.com/ithacaev.com/participacion-phr-2020-2024-py/home>
- Sepúlveda Moreno C. Moreno Moreno, L. Millán López, N. (2023): Explorando las Emociones y la Conciencia del Agua en Sonora, México: Un Análisis sobre su Impacto en el Cuidado del Recurso Hídrico. Nuevas territorialidades-gestión de los territorios y recursos naturales con sustentabilidad ambiental. UNAM-AMECIDER, México, pp. 633-648. ISBN UNAM 978-607-30-8314-0.
- Santacruz De León, E. E., & Santacruz De León, G. (2020). Consumo de agua en establecimientos hoteleros de México. Estudios y Perspectivas en Turismo, 29(1), 120–136. Centro de Investigaciones y Estudios Turísticos.

Suárez Rodríguez V. Parra Torres L. (2022) estudio de caso sobre el programa Gestión Responsable del Agua, de la empresa de acueducto y alcantarillado Aguas de Cartagena S.A., en el marco de economía circular del agua en el sector hotelero de Cartagena, Colombia. Maestría en responsabilidad social y sostenibilidad. Facultad de Finanzas, Gobierno y Relaciones Internacionales de la Universidad Externado de Colombia.

Yepez Calles, Edgar (2021). ¿A dónde va el agua en la península de Yucatán? La gran reserva de agua en México. Red Mexicana de cuencas.

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCION DE CHILE HABANERO A CIELO ABIERTO Y EN MACROTUNEL

Roberto Panuncio Mora Solís¹

Janette Itzel Sanchez Miguel²

Adolfo Alavez Aragon³

Abraham Aldaco Martinez⁴

Sergio Rodriguez Roy⁵

RESUMEN

El presente Proyecto de investigación se realizó en una de las parcelas del Instituto Tecnológico de México Campus Cuenca del Papaloapan, evaluando el desarrollo vegetativo de la planta la y disminución de gastos es una de las principales importancias para el productor en el Chile habanero. Es por ello que el estudio se ha realizado en la zona del huerto escuela de San Bartolo, Tuxtepec Oaxaca, teniendo como el área total de 450 m². El proyecto consistió en la evaluación de la producción del chile habanero a cielo abierto y en macro túnel. Se examinó basándonos en el anova con un Diseño experimental Completamente al azar (DCA) en donde se utilizaron tres tratamientos a cielo abierto en bolsa, en macrotunel plantas en bolsa y a cielo abierto directo al suelo con un nivel de significancia del 0.05% .Dentro del área de trabajo nos basamos también en la nutrición para realizar un buen amarre de flores y llenado de fruto pero basándonos en los factores que se llegaron a presentar en cuestión de patógenos y enfermedades fueron distintas por las dos formas de producción en área protegida y a cielo abierto finalizándolo conseguimos la mejor producción en macrotunel.

Palabras claves: producción, macrotunel, nutrición.

ABSTRACT

This research project was carried out in one of the plots of the Technological Institute of Mexico Campus Cuenca del Papaloapan, evaluating the vegetative development of the plant and reducing expenses is one of the main importance for the producer in Havana Chile. That is why the study has been carried out in the area of the San Bartolo school garden, Tuxtepec Oaxaca, having a total area of 450 m². The project consisted of the evaluation of the production of habanero chili in the open air and in macrotunnel.

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. L20810045@cpapaloapan.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico De La Cuenca Del Papaloapan. adolfo.aa@cpapaloapan.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico De La Cuenca Del Papaloapan. abraham.am@cpapaloapan.tecnm.mx

⁵ Tecnológico Nacional De México / Instituto Tecnológico De La Cuenca Del Papaloapan. sergio.rr@cpapaloapan.tecnm.mx

It is examined based on the anova with a Completely Randomized Experimental Design (DCA) where three treatments were used: open air in a bag, in a macrotunnel, plants in a bag, and open air directly to the ground with a significance level of 0.05%. Within the work area we also rely on nutrition to achieve a good set of flowers and fruit filling, but based on the factors that arose in terms of pathogens and diseases, they were different for the two forms of production. In a protected area and in the open sky, finishing it we achieved the best production in macrotunnel.

Keywords: production, macrotunnel, nutrition.

INTRODUCCIÓN

En México la horticultura es una de las actividades más importantes y con mayor capacidad exportadora de sus productos, además de tener una particular importancia en la agricultura de subsistencia en las comunidades rurales y la contribución en la generación de empleos en el campo. Hasta el cierre del año 2016, México se posicionó en el 9º lugar como productor de hortalizas en el mundo, al alcanzar una producción de 14.1 millones de toneladas de una amplia variedad de especies de este alimento que se cultivan a lo largo y ancho del territorio nacional (SIAP, 2016).

El chile habanero es la principal especie hortícola explotada comercialmente en la península de Yucatán, ya que además de ser un símbolo de escozor posee características de interés comercial debido a sus altos contenidos de capsaicinoides acumulados en el fruto. Los contenidos de estas sustancias se cree que pueden variar en condiciones de estrés hídrico o nutrimental. Borges-Gómez (2010)

Los macrotúneles son estructuras utilizadas en la agricultura protegida, no tienen las características apropiadas en ancho y altura para ser considerados invernaderos, pero sus dimensiones permiten que las labores se realicen en el interior (Juárez-López et al., 2011). Tienen de 4 a 5 m de ancho y 2 a 3 m de altura en la parte más elevada, con longitudes variables, que para facilitar su manejo se recomienda no sean mayores a 60 m, aunque en México existen algunos de hasta 100 m de largo (Juárez-López et al., 2011). Este tipo de estructuras son ideales para la producción de hortalizas y plantas ornamentales y tienen como ventaja su fácil construcción y bajo costo.

La producción de chile habanero se produce tradicionalmente en la península de Yucatán: Campeche, Yucatán y Quintana Roo. Mientras en la cuenca del Papaloapan son escasos los productores que se proponen con la iniciativa a esta producción por diferentes circunstancias y una de ellas es el conocimiento para adaptarse a los diferentes factores que se lleguen a presentar, que no permitan una producción rentable por ejemplo las enfermedades entre ellas hongos causados por el clima que varía en la cuenca del Papaloapan. La implementación bajo condiciones de agricultura protegida es

normalmente de gastos altos es por ello que no los instalan, sin embargo en este proyecto se evaluó en macrotunel con medidas adecuadas sin aumentar gastos innecesarios y a cielo abierto esperando dando solución a esta problemática. Con el macrotunel se logra la optimización de los recursos en el cultivo, al tener una producción mayor y de buena calidad.

METODOLOGÍA

El presente proyecto de investigación se realizó en el Área del huerto escuela del Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan en las siguientes coordenadas latitud: 18°.0901182" N., Longitud de 96°.1009841" W, en Av. Tecnológico No. 21. Ejido San Bartolo, Tuxtepec, Oax., C.P. 68446. Durante el periodo Agosto-septiembre 2024.

Ilustración 1. Ubicación de la parcela huerto escuela del ITCP, Google maps



PREPARACIÓN DEL ÁREA.

Se utilizó el implemento de arado con el tractor para voltear el suelo con dos propósitos desinfectar el suelo con la energía solar y controlar la maleza, también se ocupó el implemento de la rastra para mullir los terrones grandes de suelo para facilitar las labores en la construcción del macro túnel y las camas de siembra

Ilustración 2. preparación del suelo, creación propia



Construcción del macro túnel

Los Macro túneles son estructuras económicas muy sencillas, que permite cubrir grandes superficies de cultivo cuando no se precisa controlar en exceso las condiciones interiores del invernadero. Permite proteger con plástico y malla. (SAGARPA, 2018)

- a) **Medición del terreno.** Con el flexómetro realizó la Medición de la colocación del macro túnel en el terreno se obtuvo 30m de largo, 3m de ancho con una Altura de 5m
- b) **Armado del macro túnel.** soldamos con los electrodos las varillas de 3/8 dándole la forma en arcos y con el alambre recocido en forma de x en cada sección, obtuvimos un mejor soporte.
- c) **Confección de la malla.** La malla tenía una medida de 3.70m A x 100m L, de los 100m se realizaron dos cortes de 30m L, se costuraron los dos tramos de malla para que nos quedara una malla con las siguientes medidas, 7.20 m de ancho X 30m L.
- d) **Colocación de malla.** Se puso la malla de 70% para una mejor protección solar tapando toda la orilla con tierra para que se ajustara bien.

Ilustración 3. Construcción del macro túnel, creación propia



Preparación de camas de siembra a cielo abierto

En la preparación de camas medimos 3m A x 30m L, removimos la tierra con pico y sacamos con la pala para colocar hojarascas con ramas secas con el objetivo de obtener un suelo enriquecida de materia orgánica y filtración de agua por la temporada de lluvias, se colocó tierra encima con una Altura de 0.5.

Ilustración 4. preparación de las camas de siembra, creación propia



Desinfección de sustrato

Realizamos el caldo de bordelés con los ingredientes de 1kl sulfato de cobre y 1kl cal deshidratada y dos cubetas de 20 L. En cada cubeta de 20 L colocamos 3L de agua posteriormente una vez pesado 200 grs de sulfato de cobre agregamos a una cubeta y disolvimos perfectamente sin que quede ninguna de las partículas, en la otra cubeta ya pesado los 200 grs de cal disolvimos bien, después el sulfato de cobre se pasa a la cubeta donde ya está listo el de cal nuevamente revolver los dos juntos, agregamos agua hasta llenar la cubeta y lo vaciamos a una bomba de 20L para asperjar en el del sustrato de aluvión, revolviendo para que todo el aluvión se desinfectara bien.

Trasplante de plántulas a bolsas

Una vez ya rellena las bolsas pasamos a trasplantar con 41 días después de la germinación, para en buen crecimiento aplicamos un enraizante para las raíces y se pasaron al macro túnel y a cielo abierto con una separación de 40cm. Entre planta y planta.

RESULTADOS

Tabla 9 Resumen de procesamiento de casos

		Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
Altura de la Planta	Tratamiento	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
	Bolsa Abierto	18	100.0%	0	0.0%	18	100.0%
	Macro túnel Bolsa	18	100.0%	0	0.0%	18	100.0%
	Suelo Directo	18	100.0%	0	0.0%	18	100.0%

Tabla 10. prueba de Normalidad

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Altura de la Planta	Bolsa Abierto	.965	18	.706
	Macro túnel Bolsa	.975	18	.882
	Suelo Directo	.935	18	.237

Tabla 11. Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene			Sig.
			gl1	gl2	
Altura de la Planta	Se basa en la media	.151	2	51	.860
	Se basa en la mediana	.116	2	51	.891
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.116	2	50.615	.891
	Se basa en la media recortada	.127	2	51	.881

Tabla 12. Análisis de varianza

ANOVA					
Altura de la Planta					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2350.815	2	1175.407	20.171	.000
Dentro de grupos	2971.944	51	58.273		
Total	5322.759	53			

Tabla 13. Prueba de Tukey

Altura de la Planta				
Subconjunto para alfa = 0.05				
	Tratamiento	N	1	2
HSD Tukey ^a	Suelo Directo	18	27.9444	
	Bolsa Abierto	18		40.8333
	Macro túnel Bolsa	18		42.8333
	Sig.		1.000	.713

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 18.000.

Ilustración 5. grafica de cajas altura de la planta

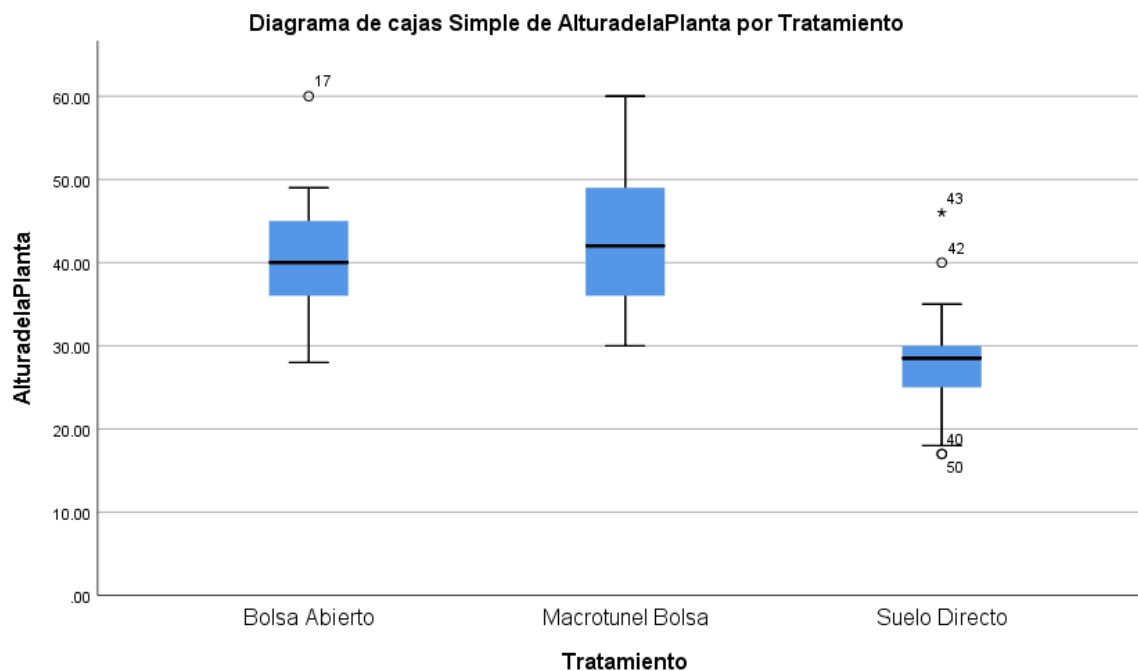


Tabla 14. Análisis de Varianza de la producción en gramos

ANOVA					
Producción en Gramos					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	45232.704	2	22616.352	44.267	.000
Dentro de grupos	26056.333	51	510.908		
Total	71289.037	53			

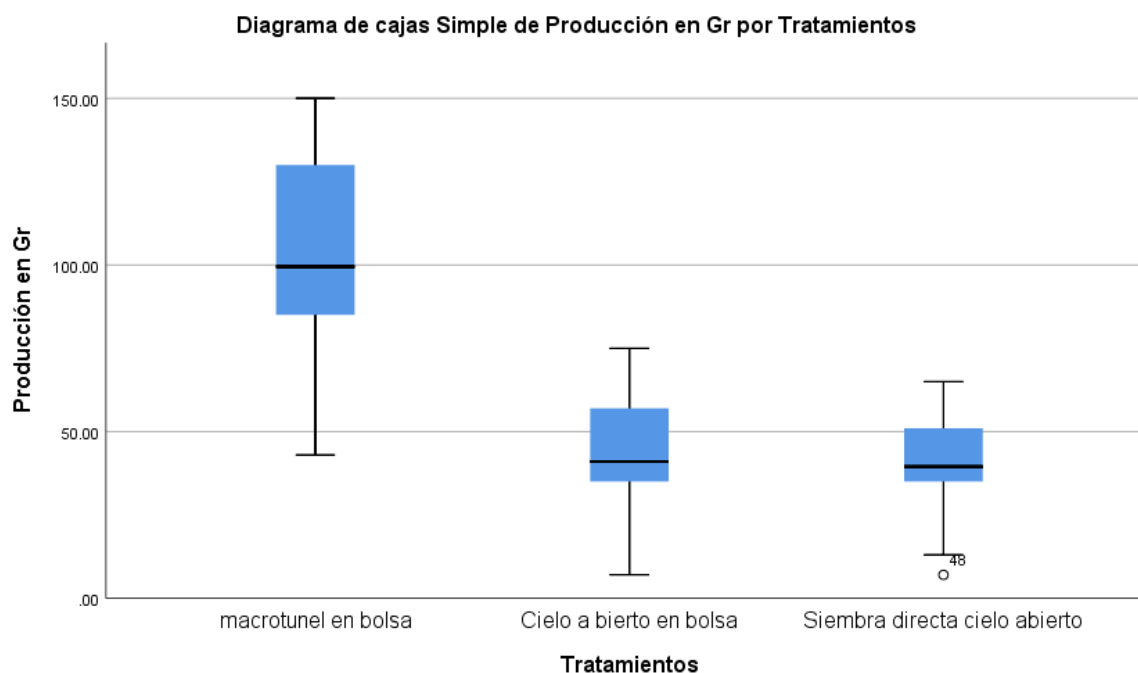
Tabla 15. prueba de Tukey.

		Subconjunto para alfa = 0.05	
	Tratamientos	N	12
HSD* Tukey ^a	Siembra directa cielo abierto	18	39.0556
	Cielo abierto en bolsa	18	42.8889
	Macro túnel en bolsa	18	102.2778

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 18.000.

Diferencia honestamente significativa (HSD)



CONCLUSIONES

Se obtuvieron mejores resultados en el área protegida macro túnel en lo antes mencionado con una mejor productividad que en bolsas a cielo abierto y en suelo directo gracias a que se ocupó una malla sombra al 70%, esta nos ayudó a mantener una temperatura adecuada dentro del túnel así como a su vez un manejo mejor de control de plagas, esto representa una gran oportunidad para productores hortícolas por la reducción de costos en el control de plagas y enfermedades y por el aumento de la productividad. Las plantas cultivadas sin malla sombra presentaron un menor crecimiento y productividad, agregado que están expuestas de forma directa a factores ambientales como lo son: plagas, viento, lluvia y sol.

REFERENCIAS

- Borges-Gómez, L., Cervantes Cárdenas, L., Ruiz Novelo, J., Soria Fregoso, M., Reyes Oregel, V., & Villanueva Couoh, E. (2010). Capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Terra latinoamericana*, 28(1), 35-41.
- Black, L.L., Green, S.K., Hartman, L.G., and Poulos, M.J. 1991. Pepper diseases. A field guide. Asian Vegetable Research and Development Center. AVRDC Publication No. 91-347. 98 p.
- González, T., Gutiérrez, L. y Contreras, F. (2018). El chile habanero en la cultura peninsular. En González, T., Zúñiga, J. y Vázquez, F. (Coords.), Mejoramiento genético del chile habanero de la Península de Yucatán. pp. 17-23, CONACYT-CICY-FOMIX-SIIES.
- Juárez-López, P., Bugarín Montolla, R., Castro Brindis, R., Sánchez-Monteón, A., Cruz-Crespo, E., Juárez Rosete, C., Alejo Santiago, G., & Balois Morales, R. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8), 21–27.
- Luis-Arteaga, M. and Ponz, F. 2003. Potato virus Y. Pp. 35 – 36. In: Compendium of pepper diseases. (Ed. by K. Pernezny, P.D. Roberts, J.F. Murphy, and N.P. Goldberg). The APS Press. St. Paul, MN, USA. 63 p.
- Murphy, J.F. and Zitter, A.T. 2003. Pepper mottle virus. Pp. 33-34. In: Compendium of pepper diseases. (Ed. by K. Pernezny, P.D. Roberts, J.F. Murphy, and N.P. Goldberg). The APS Press. St. Paul, MN, USA. 63 p.
- Panorama Agropecuario (2016). Producción de Chile Habanero y Capsaicina Cap 290, Panorama Agropecuario.
- Pérez, M.L. y Rico, E. 2004. Virus fitopatógenos en cultivos hortícolas de importancia económica en el estado de Guanajuato. Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad de Guanajuato. Offset Libra. México, D.F. 143 p.
- Ramírez, G. (2017). Análisis de la producción del chile habanero (*Capsicum chinense*, jacq.) en los principales estados productores de México Durante 2006-2015. México: Universidad Autónoma Antonio Narro., División de Ciencias Económicas, Departamento de Economía Agrícola.
- Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F., & Martínez-Estévez, M. (2011). El chile habanero: su origen y usos. *Ciencia*, 63(3), 70-76.
- Robles-Hernández, L., González-Franco, A.C., Gill-Langarica, E.M., Pérez-Moreno, L. y López-Díaz, J.C. 2010. Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección. *Tecnociencia Chihuahua* IV:72-86.

- Rodríguez-Alvarado, G. and Liddell, C.M. 1993. Identification and distribution of pepper viruses in New Mexico. Abstracts of Presentations. American Phytopathological Society. P. 1372.
- SIAP. (2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Blog. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Valenzuela, K. L. (2023). Comercialización de los parentales silvestres del chile habanero con denominación de origen en el sureste mexicano, una oportunidad para la creación de clústers. Revista de Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria de Ciencias Económicas Administrativas-Departamento de Ciencias Económico Administrativas-Campus Navojoa, (40).
- Velásquez-Valle, R., Reveles-Torres, L.R. y Mena-Covarrubias, J. 2012a. Incidencia y sintomatología de cinco virus en parcelas comerciales de chile seco en Aguascalientes, San Luis Potosí y Zacatecas, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3:381-390.
- Tun Dzul. J de la C. 2001. Características y tecnología de producción del chile habanero. Centro de Investigación Regional del Sureste. INIFAP- SAGARPA. Mocochoá, Yucatán, México. Pp: 5-74.
- Urias, M.C. y Alejandre, T.A. 1999. Los virus y su impacto en la producción agrícola. Pp. 92-109. In: Hortalizas. Plagas y enfermedades. (S. Anaya R. y J. Romero N. et al. Eds.). Editorial Trillas. México, D. F.