



GOBIERNO DEL ESTADO DE
VERACRUZ
2024 - 2030

SEV
SECRETARÍA
DE EDUCACIÓN
DE VERACRUZ

SEMSys
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR Y SUPERIOR

COVEICYDET
CONSEJO VERACRUZANO DE INVESTIGACIÓN
CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

DET
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN
TECNOLÓGICA DEL ESTADO
DE VERACRUZ


Instituto Tecnológico
Superior de Xalapa


Universidad Veracruzana



Acercando la Tecnología a la Sustentabilidad

Coordinadores:

**Hugo Amores Pérez, María Salomé Alejandre Apolinar,
Irma Angélica García González, Yadeneyro de la Cruz
Elizondo, Nancy Domínguez González**

***Acercando la Tecnología
a la Sustentabilidad***

Acercando la Tecnología a la Sustentabilidad

Coordinadores:

Hugo Amores Pérez, María Salomé Alejandre Apolinar, Irma Angélica García González.
TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa

Yadeneyro de la Cruz Elizondo, Nancy Domínguez González.
Facultad de Biología, Universidad Veracruzana

Primera edición, marzo de 2025
D.R. © Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
5a. Sección de la Reserva Territorial s/n
Col. Santa Bárbara, CP 91098
Xalapa Veracruz, México
Tel. 52+ 228 1650525 ext. 114
<https://www.itsx.edu.mx/>
ISBN: 978-607-8212-19-4

Esta publicación fue financiada por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET).

La presente obra fue dictaminada por el método a doble ciego por dos evaluadores externos conforme a los criterios académicos vigentes.

Esta obra debe ser citada como:

Amores Pérez, H., Alejandro Apolinar, M. S., García González, I. A., de la Cruz Elizondo, Y., & Domínguez González, N. (Coords.). (2025). *Acercando la tecnología a la Sustentabilidad*. Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.

Diseño y edición: Juan Camilo Fontalvo Buelvas & Erasmo Velázquez Cigarroa

Diseño de portada: Juan Camilo Fontalvo Buelvas con ayuda de IA Bing.

Red Mexicana de Formadores Ambientales para el Desarrollo Sostenible – REMEFADS, A. C.

www.remefads.org.mx

Comité Editorial

Hugo Amores Pérez

María Salomé Alejandre Apolinar

Irma Angélica García González

Yadeneyro de la Cruz Elizondo

Nancy Domínguez González

Comité de Revisión

Rosa María Arias Mota- INECOL A.C.

Laura Celina Ruelas Monjardín-ITS Xalapa

Jacel Adame García- IT Úrsulo Galván

José Armando Lozada García- UV

Héctor V. Narave Flores-UV

Benito Hernández Castellanos-UV

Juan Carlos Moreno Seceña-COLPOS

Oscar Carmona Hernández-UV

Gabriel Arturo Soto Ojeda-UV

Jorge Manzo Denes-IIICE

María Rebeca Toledo Cárdenas-IIICE

Fabiola Lango Reynoso-IT Boca del Río

María del Refugio Castañeda Chávez- IT Boca del Río

Fabiola Sandoval Salas- ITS Perote

Carlos Méndez Carreto-ITS Perote

Daniel Hernández Pitalúa- ITS Xalapa

Lilia Licea Hernández- ITS Xalapa

María Cristina López Méndez- ITS Misantla

Ervin Jesús Alvarez Sánchez-UV

Virginia Lagunes Barradas-ITS Xalapa

María Elena Hernández Aguilar-IIICE

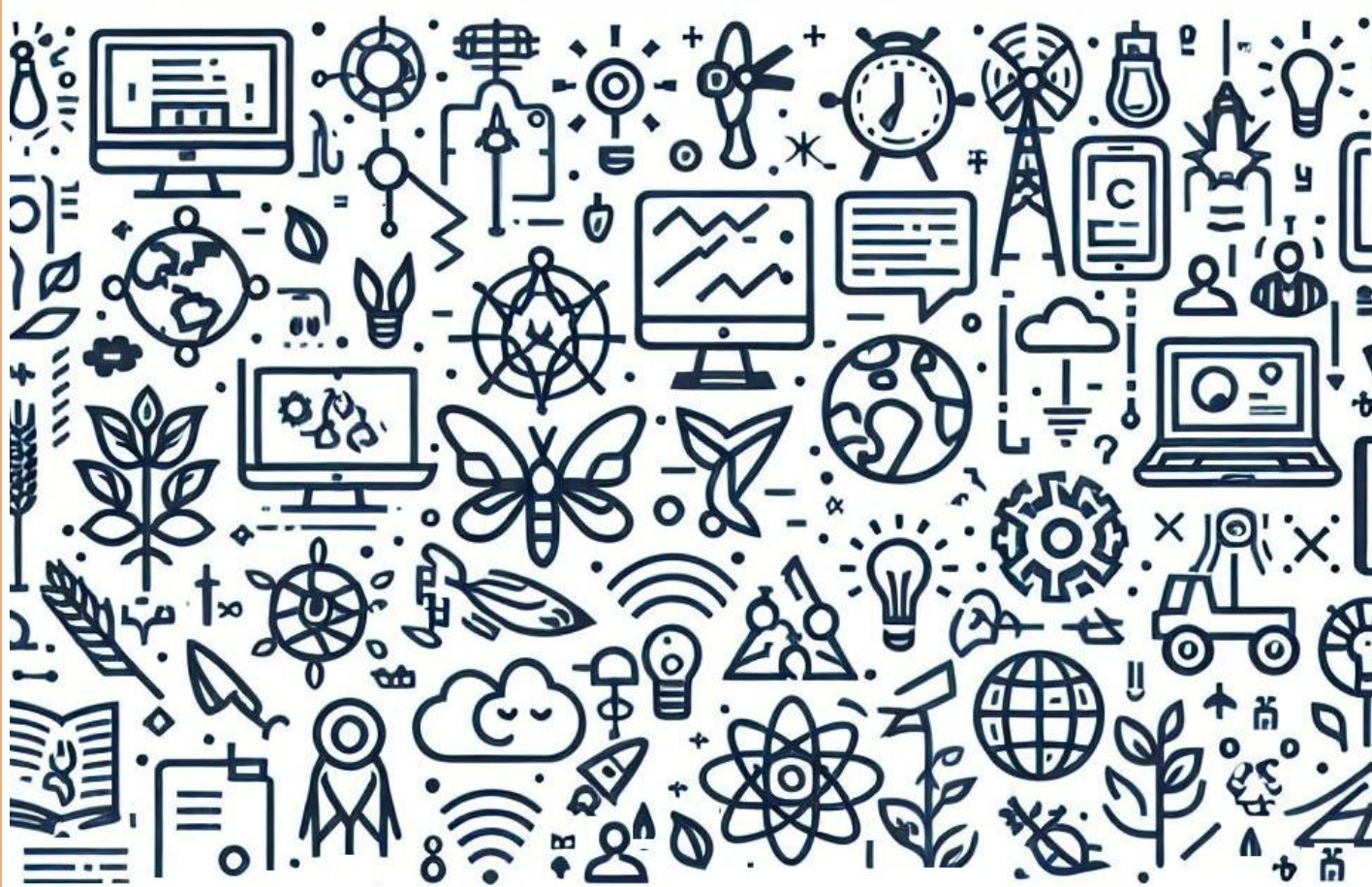
José Luis Olivares Romero-INECOL

Jorge Luis Arenas Del Angel-UV

ÍNDICE

Prólogo	9
 Capítulo I. Nodess Macrotúneles: Investigación, Innovación y Emprendimiento Jacel Adame García, Felix David Murillo Cuevas, José Antonio Fernández Viveros, Adriana Elena Rivera Meza	11
Capítulo II. Economía social y solidaria: alternativa de desarrollo en la Región 8 Libres del estado de Puebla Dulce María Martínez Ángeles, Sagrario Alejandre Apolinar, Daniel Alejandro García López	24
Capítulo III. Desarrollo agrícola sostenible; estrategia para mejorar el bienestar de comunidades rurales en pobreza Irma Angélica García González, María Salomé Alejandre Apolinar, Hugo Amores Pérez, Sagrario Alejandre Apolinar, María Graciela Hernández y Orduña	38
Capítulo IV. Diagnóstico socioambiental: base para aplicar acciones de vinculación en comunidades de la montaña Héctor V. Narave Flores, María de los Ángeles Chamorro Zárate, Yadeneyro de la Cruz Elizondo, Benito Hernández Castellanos.....	51
Capítulo V. Alternativa de alimentación en la ganadería sostenible de pequeños productores Fernando Naranjo Chacón, Guadalupe Espejo Beristáin.....	67
Capítulo VI. Diseño y construcción de un prototipo anaerobio de mezclado de fermentaciones semisólidas en TecNM campus Perote, Veracruz Lilia Ortiz Rodríguez, Jessica León López, Lucía Ortiz Rodríguez, Mario Francisco Hernández Flores, Nora Isela Ruiz Colorado	86
Capítulo VII. Incubación Artificial para incremento de la crianza de gallinas ponedoras y pollos de engorde en una granja avícola María Salomé Alejandre Apolinar, Hugo Amores Pérez, Irma Angélica García González, Alejandro Martínez Portugal, María Graciela Hernández y Orduña	102
Capítulo VIII. Aplicación del Internet de las Cosas en la agricultura 4.0 en Pánuco Veracruz Julia Patricia Melo Morín, Armando Hernández Machuca, María de los Ángeles Ahumada Cervantes, Jesús Muñiz Blanco, Eric Álvarez Baltierra	121

Capítulo IX. Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento en la gestión ambiental para la sustentabilidad	
Nancy Domínguez González, Daniel Serna Poot, Fernando Naranjo Chacón	134
Capítulo X. La sustentabilidad en carreras tecnológicas e ingenierías, estrategias didácticas para su abordaje integral	
Rodolfo Viveros Contreras, Yadeneyro de la Cruz Elizondo, José Armando Lozada García...	157
Capítulo XI. Hacia la transferencia tecnológica para la optimización in vitro de cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	
Francisco Hernández Quinto, Mariana Lobato Báez, Luis Alberto Morales Rosales, Daniel Alejandro García López, María de Jesús Hernández Luna	176
Capítulo XII. Transferencia tecnológica a cafetaleros para la propagación de micorrizas nativas en Jilotepec, Veracruz	
Rosa María Arias Mota, Daniela Jasbeth Santiago Acosta, Yadeneyro de la Cruz Elizondo, Laura Celina Ruelas Monjardín	192
Capítulo XIII. Efecto de la combinación de bismuto y detergente sobre la germinación y crecimiento de plántula de semilla de <i>Tagetes erecta</i> (cempasúchil)	
Arturo Cabrera Hernandez, Arturo Cabrera Vázquez, Joaquín Sangabriel-Lomelí, Luis Mejía Macario, Evelyn Limón Segura	210
Capítulo XIV. Análisis de variables para la estandarización de cultivo en invernaderos de Forraje Verde Hidropónico	
Daniel Bello Parra, Félix Murrieta Domínguez, Alberto Ceballos, Alicia Peralta Maroto, Senén Juárez León	228
Capítulo XV. Efecto del sistema de cultivo en biorreactor sobre la producción de espinosinas para uso agrícola	
Juana Casados Molar, Rodrigo Cuervo González, Miguel Alberto Pérez Vargas, Alejandro Cruz Hernández, Leandro Chaires Martínez	247



Prólogo

El presente libro es el resultado de un esfuerzo colectivo para profundizar en el papel fundamental de la ciencia, la tecnología y la innovación en el desarrollo de nuestra sociedad, especialmente en el contexto de Veracruz y su relación con los retos globales. A lo largo de sus páginas, se exploran diversas investigaciones y propuestas que tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, basándose en los avances científicos y tecnológicos para ofrecer soluciones innovadoras a las necesidades actuales de nuestra comunidad.

Este trabajo resalta el vínculo intrínseco entre el conocimiento científico y el bienestar social, reconociendo que la ciencia es un derecho humano fundamental, tal como lo establece la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación. A través de esta obra, se busca contribuir a una mejor comprensión del papel que desempeñan las ciencias y las tecnologías en la resolución de problemas reales, desde la preservación del medio ambiente hasta el desarrollo de nuevas herramientas que optimicen procesos productivos y sociales.

Uno de los principales valores de esta obra es su enfoque en la investigación aplicada, que no solo busca ampliar los horizontes del conocimiento, sino también genera impacto directo en las comunidades. Aquí se presentan propuestas concretas para fortalecer la infraestructura científica y tecnológica, mejorando la accesibilidad de la innovación a todos los sectores de la población, en especial en los más vulnerables.

El trabajo aquí presentado no se limita a aspectos técnicos, sino que también considera la importancia de la ciencia como motor de inclusión social y desarrollo equitativo. Las investigaciones reunidas en este volumen reflejan la voluntad de generar cambios significativos, promoviendo el acceso a los beneficios del conocimiento tanto a nivel individual como colectivo. Además, se abordan cuestiones cruciales como la sostenibilidad ambiental, la salud pública y la mejora de la educación, pilares fundamentales para la construcción de una sociedad más justa y próspera.

Este libro constituye una valiosa contribución al desarrollo científico y tecnológico de Veracruz, además de una invitación a reflexionar sobre cómo la ciencia y la innovación pueden ser herramientas esenciales para avanzar hacia un futuro más inclusivo y sostenible. Es un testimonio del compromiso con el conocimiento aplicado, cuyo objetivo no es solo el progreso académico, sino también el bienestar colectivo, haciendo de la ciencia un recurso al servicio de todos.

Dra. María Graciela Hernández y Orduña

Directora General del Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

Jacel Adame García¹, Felix David Murillo Cuevas¹, José Antonio Fernández Viveros¹, Adriana Elena Rivera Meza¹

Jacel Adame García¹, Felix David Murillo Cuevas¹, José Antonio Fernández Viveros¹, Adriana Elena Rivera Meza¹

Página 11

Resumen

En el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván (ITUG) el Cuerpo Académico reconocido por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) “Biodiversidad, Biotecnología, Medio Ambiente e Innovación Tecnológica (ITURG-CA-1)” ha realizado esfuerzos para que los proyectos estratégicos que realicen incluyan Investigación, Innovación y Emprendimiento para apoyar a una agricultura sostenible. Un ejemplo de ellos es los macrotúneles para una producción sustentable. Los cuales son unidades de producción familiar y una estrategia para que la población rural pueda obtener alimentos a bajo costo y alcanzar con ello, la seguridad alimentaria. Son una alternativa innovadora de producción de alimento para autoconsumo y/o venta que las instituciones de nivel medio superior de zonas rurales en Veracruz pueden adoptar, con los apoyos apropiados las escuelas pueden llegar a convertirse en un motor de desarrollo en la región. Los macrotúneles son una alternativa de producción de alimento en pequeños espacios (90 m²), pudiendo ser ecosistemas agrícolas para que las escuelas aprovechen los espacios y lugares muertos. Son de fácil construcción y en comparación con los invernaderos son de bajo costo de inversión. En el ITUG se promueven paquetes tecnológicos que son adoptados por las escuelas de educación media superior de zonas rurales. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los macrotúneles como alternativa innovadora de producción sustentable de alimentos para escuelas productivas de nivel medio superior. Este proyecto alcanzó un nivel de Maduración Social SRL 3 al iniciar las pruebas en campo de la producción de hortalizas en macrotúnel, con el grupo de interés (escuelas rurales de nivel medio superior).

Palabras clave: Bioestimulantes, biorracional, economía social, hortalizas, solidaria.

Introducción

El uso de macrotúneles, con un manejo biorracional en escuelas productivas, permitirá promover una agricultura sustentable y prácticas agroecológicas con los adolescentes y jóvenes. Ya que estas escuelas son espacios de formación integral y serán una realidad cuando lo productivo no sea sólo ilusión óptica y realmente se obtengan cultivos de calidad con un manejo adecuado. A través de esta alternativa innovadora de producción, los jóvenes tienen una interacción directa con cada una de las áreas del saber educativo, se fomenta en la comunidad un interés por realizar labores agroecológicas al evitar el uso de insumos químicos (manejo biorracional).

En el Tecnológico Nacional de México (TecNM), Campus Úrsulo Galván, se han construido macrotúneles gracias a los proyectos de investigación financiados por el TecNM, el cual ha servido para realizar investigaciones sobre insecticidas a base de entomopatógenos y bacterias fijadoras de nitrógeno, como productos biorracionales potenciales en la producción de hortalizas en macrotúnel. Se han ido generando alternativas innovadoras de producción de hortalizas en macrotúnel para las condiciones de la región centro costera de Veracruz, las cuales deberán ser validadas en conjunto para generar una propuesta de producción biorracional de hortalizas en macrotúnel como alternativa innovadora para mejorar la seguridad alimentaria en la región, alternativa que se pretende sea una propuesta para las instituciones de nivel medio superior de los municipios de Alvarado, Xico, La Antigua y Úrsulo Galván.

En las escuelas productivas no deben enseñar solo una determinada actividad agropecuaria encerrada en el circuito productivo de la escuela, sino que, por el contrario, la actividad agropecuaria que se desarrolla en ese sector debe ser una herramienta para que el estudiante se lleve y pueda utilizar en el futuro, para operar en esa misma actividad o en otra, en cualquier región. Cuando se refiere a escuelas productivas, debe pensarse en instituciones que vayan más allá de la transmisión de referentes y elementos culturales; es necesario una escuela y un proyecto educativo que reconozcan la realidad rural y actúen con pertinencia. Deben dar respuesta no solo frente a los problemas del mundo campesino, sino también ante los desafíos que implica la idea de dignificar, desarrollar y consolidar una cultura y una visión de vida (del Rosario Piñero et al., 2014).

En las instituciones educativas, la agroecología representa una estrategia integral para fomentar la sustentabilidad, el aprendizaje práctico y la vinculación con la comunidad. Al implementar huertos agroecológicos en ambientes académicos permite desarrollar conocimientos interdisciplinarios, promueven prácticas agrícolas sostenibles y una conciencia ambiental entre los integrantes de la comunidad educativa. Los huertos en las escuelas contribuyen a la seguridad alimentaria local, facilitan las competencias de los estudiantes en nutrición y gestión ambiental lo que les permitirá enfrentar en un futuro los desafíos de la producción de alimentos de manera sustentable (Fontalvo-Buelvas, de la Cruz-Elizondo, & Castro-Martínez, 2021).

Si vemos la agroecología desde el contexto educativo, es una herramienta para la formación integral de los estudiantes. Los huertos educativos funcionan como laboratorios vivos donde se experimentan con técnicas agrícolas sostenibles, además de fomentar el diálogo de saberes entre la academia y los conocimientos tradicionales. De acuerdo con Merçon et al. (2024), los estudiantes experimentan sensibilización socioambiental y la formación en valores fortaleciendo la vinculación con su entorno y promoviendo prácticas agrícolas responsables.

Existen iniciativas como el Huerto Agroecológico de la Universidad Veracruzana que se les reconoce por su impacto significativo en la educación ambiental y en la formación de ciudadanos con conciencia ecológica. Estos espacios trascienden su función didáctica hasta convertirse en plataformas de extensión comunitaria, permiten la integración de estudiantes, docentes y comunidades en procesos de producción sustentable (Fontalvo-Buelvas y de la Cruz-Elizondo 2021).

Es importante reconocer que en todo contexto social requiere una labor educativa cuyos fines se establezcan desde las tareas técnicas para conseguir resultados aceptables en los exámenes; para hacer de la enseñanza de nuevo una misión social de dar forma a la vida y cambiar el mundo (Hargreaves, 2003).

De acuerdo con Rubio (1996) la cultura desarrollada en las zonas rurales podrá tener la oportunidad de refundarse y lo hará con base a proyectos productivos incluyentes, lo cual permite subsistir con dignidad de lo que produce; incrementar la producción con apoyos suficientes; contribuir al cuidado del ambiente, diversificar la producción, e integrarse de manera diferenciada según los recursos disponibles, la región, el tipo de cultivo, en suma, según su especificidad.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el Telebachillerato Comunitario El Zapote del Municipio de Alvarado, en el Bachillerato Oficial Vespertino Xico del mismo municipio, en el Bachillerato Oficial Vespertino Agustín Yañez del Municipio de La Antigua y en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 17 del municipio de Úrsulo Galván, todos pertenecientes a la región centro del estado de Veracruz.

En el periodo 2022-2024 se estableció un macrotúnel en cada uno de los centros de educación media superior. Las condiciones ambientales del estudio de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020) corresponden a una llanura aluvial costera con clima cálido subhúmedo y lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre 24°C y 26°C, con una precipitación anual promedio de 1,100 a 1,300 mm. Estas condiciones representan un reto para la utilización de agricultura protegida por las altas temperaturas prevalecientes, mismas que generan un ambiente propicio para la expresión de plagas, especialmente para hortalizas.

Macrotúneles

Cada macrotúnel mide 3 m de ancho por 30 m de longitud, los cuales están forrados con malla antiáfidos con dos puertas y un espacio previo entre las puertas, quienes a su vez están cubiertas con malla para evitar la entrada de áfidos. Dentro de cada macrotúnel se conformaron dos camas con composta mezclada con suelo y acolchado blanco-negro, las camas miden 90 cm de ancho y 30 cm altura, separadas una de otra por un callejón de 50 cm de ancho, el marco de plantación fue de una planta cada 25 cm, lo cual dio un total de 120 plantas por cama y 240 por macrotúnel. Dentro de cada macrotúnel se instaló un sistema de riego de 4 salidas de agua y 30 m de cintilla calibre 6000 para cada cama, conectadas a la línea principal con 4 válvulas de paso para cada macrotúnel para controlar el riego del cultivo.

Este trabajo fue parte del proyecto financiado por parte del Tecnológico Nacional de México en la Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación denominado “Alternativa innovadora de producción sustentable de alimentos para escuelas productivas de nivel medio superior” clave 14151.22-P.

Material vegetal

Se establecieron hortalizas como chile habanero, chile serrano, chile tampiqueño, chile jalapeño, pimiento morrón, tomate, pepino y ejote. Esto de acuerdo con el interés de las instituciones de educación media superior. Las semillas previamente se trataron con hongos *Trichoderma* y *Rhizophagus*. Las semillas se germinaron en charolas y posteriormente trasplantadas en cada uno de los macrotúneles.

Productos biorracionales

Se evaluaron en la producción de hortalizas en condiciones de macrotúnel mediante el empleo de bioestimulantes a base de *Trichoderma* spp. y bacterias fijadoras de nitrógeno *Bacillus* spp. (GeniFix®) producto obtenido por nuestro equipo de trabajo en proyectos anteriores, así como insecticidas biorracionales a base de hongos como *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e *Isaria javanica*. Los productos en algunos casos fueron comerciales y en otros fueron proporcionados por El Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y TecNM Campus Úrsulo Galván.

La evaluación económica - financiera se realizó a través de valorar la inversión inicial del macrotúnel, así como en los insumos para la producción de hortalizas para evaluar el proyecto y medir los beneficios que se obtienen al ejecutarlo que supere los costos y los gastos para su realización. Se determinó la inversión inicial, los insumos y los costos de producción a través de un análisis financiero, en donde reflejó la utilidad obtenida por ingreso por la venta, los jornales y la producción para el consumo propio.

Para el grado de aceptación y satisfacción por parte de los actores de las instituciones para con los macrotúneles el instrumento de medición fue una encuesta aplicada, a través de la formulación de un cuestionario de manera clara. La encuesta se diseñó de forma combinada, con preguntas cerradas de tipo dicotómicas que establecen sólo 2 alternativas de respuesta, “Si o No” y de evaluación en donde los entrevistados leyeron una escala de intensidad creciente o decreciente de categorías de respuesta. Los entrevistados respondieron a cada elemento utilizando el formato de respuesta Likert de cinco puntos (Muy Insatisfecho (1), Insatisfecho (2), Neutro (3), Satisfecho (4), muy Satisfecho (5).

Resultados y discusión

El proyecto “Alternativa innovadora de producción sustentable de alimentos para escuelas productivas de nivel medio superior” clave 14151.22-P financiado por parte del Tecnológico Nacional de México, se desarrolló de agosto 2022 a diciembre 2023. Uno de sus objetivos fue determinar el impacto de una alternativa innovadora de producción sustentable de alimentos para

escuelas productivas de nivel medio superior. Este proyecto incluyó desde la instalación del macrotúnel, la siembra de las semillas, trasplante de plántulas, manejo biorracional del cultivo y capacitación constante. Para tomar la decisión de cuáles instituciones serían las beneficiadas, se consideró contar con al menos un tipo de institución de nivel medio superior, por ejemplo, un bachillerato tecnológico de preferencia de agropecuaria, un bachillerato oficial y telebachilleratos.

Todos los macrotúneles se establecieron en septiembre 2022 iniciando con el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 17 (CBTa 17) ubicado en el municipio de Úrsulo Galván (Figura 1) en el que estudiantes de quinto semestre se encargaron del establecimiento de camas, instalación del riego y manejo de plántulas.



Figura 1. *Macrotúnel en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 17 municipio de Úrsulo Galván.*

Un segundo macrotúnel se estableció en el Bachillerato Oficial Vespertino de Xico (Figura 2), al igual que en CBTa No. 17 los estudiantes participan activamente en el establecimiento y manejo del macrotúnel.



Figura 2. *Macrotúnel en el Bachillerato Oficial Vespertino de Xico del municipio del mismo nombre.*

En nivel medio superior existen bachilleratos que fueron creados para ofrecer servicios de Educación Media Superior a comunidades rurales más apartadas del país, los Telebachilleratos Comunitarios (TEBACOM). Pensando en esta misión de los TEBACOM, en El Zapote del Municipio de Alvarado se instaló de igual manera un macrotúnel (Figura 3).



Figura 3. *Macrotúnel Telebachillerato Comunitario de El Zapote del Municipio de Alvarado.*

Otro de los Bachilleratos beneficiados con el proyecto fue el Bachillerato Oficial Agustín Yáñez Vespertino de La Antigua (Figura 4).



Figura 4. *Macrotúneles Bachillerato Oficial Agustín Yáñez Vespertino de La Antigua.*

El beneficio de esta alternativa es que al involucrar a las instituciones de nivel medio superior en el manejo y producción de hortalizas en condiciones de macrotúnel empleando productos biorracionales permite que las escuelas cuenten con estrategias viables, biorracionales y económicas que les generen ingresos adicionales.

Los cultivos manejados por los estudiantes de nivel medio superior presentaron un desarrollo vegetativo adecuado, el rendimiento que se obtuvo por macrotúnel considerando 90 m². En los macrotúneles, los costos variables de producción principalmente es la mano de obra, pero como los mismos estudiantes y trabajadores son los que hacen los trabajos de deshierbe y cultivo hace que el costo no se eleve. El pepino tuvo un rendimiento de 4.5 kg/m² igual en una superficie de 90m² (120 plantas), con una producción total de 540 Kg, con un precio de venta de \$10.00 pesos mexicanos (MXN), lo que genera un ingreso de \$10,800 MXN. En lo que respecta al tomate se obtienen 5 Kg por metro cuadrado, lo que genera una producción de 450 Kg con un precio promedio de venta de \$25.00 MXN, generando un ingreso de \$11,250 MXN.

Por otra parte, el grado de aceptación y satisfacción de los participantes en los macrotúneles fue muy satisfactorio. Las encuestas aplicadas mostraron un grado de aceptación del 90% al 100%, en donde los estudiantes, maestros y trabajadores manifestaron aceptar trabajar

en los cultivos y aprender el manejo, quienes manifestaron ánimos, colaboración y en todo momento, disposición de aprender el manejo biorracional de los cultivos. Los involucrados en el proyecto quedaron muy satisfechos por el aprendizaje, la producción y el impacto que tuvo en su institución este tipo de producción. Por eso es importante que se capacite a los estudiantes para que se desempeñen eficientemente en contextos diversos y cambiantes al desarrollar competencias que habilitan para la comprensión, interpretación, y/o intervención sobre contextos variados reconociendo sus particularidades. Para que la articulación entre la teoría y la práctica, la educación y el trabajo sean una realidad sostenible, deben basarse en un proyecto sostenible. Proponer proyecto que, de resultados frente a los alumnos, los padres, la comunidad educativa y la comunidad rural, como lo son los macrotúneles para la producción sustentable de alimentos.

Al establecer proyectos productivos en las escuelas se aprovecha el contacto directo y diario de los jóvenes, los conocimientos y las experiencias adquiridas mediante su participación en la vida productiva familiar. La escuela rural tiene posibilidades de crear espacios de enseñanza aprendizaje al aire libre, que se basan en observación directa, relaciones significativas a las actividades productivas, socioculturales de su comunidad (del Rosario Piñero et al., 2014). Un ejemplo es la implementación del huerto escolar en el Telebachillerato de Tepatlán de Tantoyuca Veracruz, en el que analizaron cómo éste influye en la motivación y eficiencia terminal de los estudiantes. Los autores destacan que el huerto escolar, integrado al currículo mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos, no solo aborda temas académicos y transversales como la educación ambiental, sino que mejora el rendimiento estudiantil y promueve prácticas sustentables en el sector agropecuario. Existen cifras significativas que evidencian el impacto positivo de los huertos en la comunidad educativa (García-Azuara et al., 2023).

Este trabajo concuerda con el de los macrotúneles, los cuales son herramientas didácticas efectivas para fomentar la enseñanza y el aprendizaje en escuelas rurales, y que al mismo tiempo atiende necesidades locales y fortalece la vinculación de los estudiantes con su entorno. Estas experiencias educativas permiten la integración de proyectos productivos que motivan a los estudiantes, mejoran su desempeño académico y contribuyen al desarrollo sostenible de la comunidad. En la implementación y manejo de los macrotúneles, la participación activa de los estudiantes, docentes y padres de familia en proyectos productivos contribuye a la creación de

redes de cooperación y aprendizaje, lo que facilita la transmisión de conocimientos entre generaciones fomentando el desarrollo de comunidades autosuficientes, lo que concuerda con lo reportado por Narayan y Patel (2000) y Delgadillo-Dávila et al., (2023).

Los huertos escolares son recursos didácticos idóneos para promover la enseñanza y el aprendizaje en escuelas rurales; los estudiantes desarrollan los temas básicos y transversales de los programas de estudio como la educación ambiental, pero al mismo tiempo atienden necesidades locales mediante prácticas sustentables para el sector agropecuario (García-Azuara et al., 2023). Numerosas comunidades rurales tienen organizaciones formales que reúnen a padres de familia para acordar y ejecutar proyectos educativos. Dentro de estas organizaciones existen diversas formas de cooperación y reciprocidad encausadas hacia una participación importante en la educación escolar rural, como los proyectos productivos educativos aplicados dentro y con la población de las escuelas y comunidades (del Rosario Piñero et al., 2014).

En las escuelas productivas se requieren actores activos, productivos, creativos con capacidad para aprovechar los recursos y bienes comunitarios en favor del aprendizaje y las posibilidades de consumo sin dañar el ambiente al usar métodos y procedimientos adecuados, pensando en una perspectiva integradora donde se consideren además de las experiencias educativas tradicionales del aula, las vivencias relacionadas al trabajo a favor de los conocimientos, valores, actitudes, virtudes, habilidades y destrezas de aprendizaje.

La misión de las escuelas productivas es generar proyectos productivos donde se promueva el impulso y desarrollo de actividades generadoras de bienes y servicios útiles a la comunidad, enmarcándose en el concepto de desarrollo, generando redes productivas para el desarrollo de la economía solidaria (del Rosario Piñero et al., 2014). Los proyectos deben estar al alcance de las instituciones ya que siempre se presentan problemas cruciales como la pobreza; entendiéndose como carencia o déficit de determinados recursos para satisfacer ciertas necesidades o demandas mínimas (Narayan-Parker y Paten, 2000).

Conclusión

Los macrotúneles son una alternativa innovadora de producción de alimento para autoconsumo y/o venta que las instituciones de nivel medio superior de zonas rurales en Veracruz pudieran

adoptar. Con los apoyos apropiados las escuelas, estos proyectos tendrían el potencial de convertirse en un motor de desarrollo en la región. Los beneficios que las escuelas obtienen es el aprendizaje en la práctica, responsabilidad y respeto. Se obtienen ingresos adicionales por la venta de los productos. Los usuarios potenciales de esta propuesta pueden ser cualquier institución de educación interesada en producir hortalizas.

Referencias

- del Rosario Piñero, L., Soto, A., & Chirinos, M. Y. (2014). Actividades productivas en escuelas rurales: una misión comunitaria del directivo. *Negotium: revista de ciencias gerenciales*, 9(27), 34-52. <https://www.redalyc.org/pdf/782/78230409002.pdf>
- Delgadillo Dávila, A., Castellanos Suárez, J. A., & Contreras Pérez, G. A. (2023). *El huerto escolar y la ambientalización curricular en educación básica*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Fontalvo-Buelvas, J. C., & de la Cruz-Elizondo, Y. (2021). Huertos universitarios y necesidades humanas: una aproximación bibliográfica y vivencial desde el huerto agroecológico de la Universidad Veracruzana en México. *La Colmena* (14), 29-46. <https://doi.org/10.18800/lacolmena.202101.002>
- Fontalvo-Buelvas, J. C., de la Cruz-Elizondo, Y., & Castro-Martínez, O. R. (Coords.) (2024). *Huertos de educación superior: Relatos y experiencias desde México*. Comunicación Científica. <https://doi.org/10.52501/cc.191>
- García-Azuara, H. A., Fontalvo-Buelvas, J. C., & Velázquez-Cigarroa, E. (2023). Implementación de un huerto escolar: motivación y eficiencia terminar de estudiantes del Telebachillerato Tepatlán en Veracruz, México. En O. R. Castro-Martínez, E. Velázquez -Cigarroa & J. C. Fontalvo-Buelvas (Eds.), *Agricultura, huertos educativos y transformaciones socioecológicas. Experiencias significativas en México* (pp. 157-178). CÓDICE-Taller Editorial.
- Hargreaves, A. (2003). *Replantear el cambio educativo: un enfoque renovador*. Amorrortu.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

- Merçon, J., Escalona Aguilar, M. Á., Noriega Armella, M. I., Figueroa Núñez, I. I., Atenco Sánchez, A., & González Méndez, E. D. (2012). Cultivando la educación agroecológica: el huerto colectivo urbano como espacio educativo. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(55), 1201-1224.
- Narayan-Parker, D., & Patel, R. (2000). *Voices of the poor: Can anyone hear us?* World Bank Publications.
- Rubio, B. (1996). Las organizaciones independientes en México: semblanza de las opciones campesinas ante el proyecto neoliberal. En: de Grammont, H. C. (Coord.). *Neoliberalismo y organización social en el campo mexicano* (pp. 113-163). Plaza y Valdéz Editores.

**Dulce María Martínez Ángeles¹, Sagrario Alejandre Apolinar¹,
Daniel Alejandro García López¹**

Página 24

Resumen

En los últimos años el enfoque de la Economía Social y Solidaria (ESS) ha tomado gran relevancia en el país, sobre todo a partir del sexenio de Andrés Manuel López Obrador. En este sentido, las políticas gubernamentales han implicado el aporte hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que se han enmarcado en el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2024, particularmente se pretende consolidar un modelo económico alternativo que promueva el desarrollo inclusivo y sostenible. Esta investigación presenta el contexto bajo el cual han permeado estas políticas en la Región 8 Libres, Puebla, que considera a 11 municipios de los cuales destacan: El Seco, Libres, Oriental, Rafael Lara Grajales y San José Chiapa, quienes concentran actividades económicas relacionadas con el establecimiento de empresas tales como Granjas Carroll de México, Audi de México, Empacadora San Marcos S.A. de C.V., y la Industria Militar “La Célula”, principalmente. Con base en lo anterior, el objetivo es verificar la funcionalidad y características de la ESS en la región; para ello se realizó una investigación documental que permite dar cuenta de la inexistencia de Nodos de Impulso a la Economía Social Solidaria (NODESS), lo cual no favorece el desarrollo regional alternativo a los modelos económicos tradicionales a nivel regional. Asimismo, se realizó una encuesta a 382 habitantes de la región considerando personal ocupado, mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple y estratificado, con la finalidad de identificar su percepción respecto al modelo de la ESS y reconocimiento en su entorno. Como resultado se obtuvo que la población encuestada sigue los modelos económicos tradicionales y no están familiarizados con la ESS y su funcionamiento, e incluso les genera desconfianza, lo cual se vincula con la falta de acceso a información sobre estas iniciativas, al tratarse de una región con condiciones rurales, pese a existencia de dinamismo económico.

Palabras clave: Crecimiento económico, desarrollo, modelos económicos, política social, sostenibilidad.

Introducción

La Economía Social y Solidaria (ESS) es un enfoque económico que busca promover el bienestar social y el desarrollo sostenible a través de prácticas económicas alternativas que priorizan las personas y el entorno sobre el interés económico. Se basa en principios como la solidaridad, la

cooperación, la equidad y la participación democrática; su objetivo es transformar la economía para que sirva a las necesidades de las personas y del planeta, promoviendo un desarrollo más justo y equitativo.

Si bien el desarrollo está ligado a la industrialización y urbanización como los principales caminos hacia la modernización, al hablar de desarrollo económico, este trae consigo el progreso social, cultural y político que implica mejorar las condiciones de vida y sostenibilidad de un país.

Según Bidet (2010), la ESS ha estado en evolución durante casi 200 años, suscitando debates en el ámbito social, nivel político y económico, en Europa desde 1830. La ESS recobró fuerza durante los años 80 y creó dos corrientes teóricas con variantes internas: la europea y la Latinoamericana. El primero enfatiza cooperativismo y Economía Social, mientras que el segundo parte de alternativas experiencias económicas, basadas en la Solidaridad Económica (Guerra, 2004). Independientemente de las corrientes que han surgido, todos coinciden en vincular de manera autogestiva y colaborativa a los esquemas laborales y productivos considerando el cuidado del medio ambiente (Arruda, 2007; Guerra 2012, Manríquez, 2017).

Para Castillo (2011), el desarrollo conjuga la capacidad de crecimiento con la capacidad de transformación de la base económica sumado a la capacidad de absorción social de los frutos del crecimiento. Además implica una elevación sostenida del ingreso real por habitante, un mejoramiento de las condiciones de vida y de trabajo, una composición equilibrada de la actividad económica, una difusión generalizada de los beneficios del progreso entre toda la población, una efectiva autonomía nacional de las decisiones que afectan fundamentalmente el curso y el nivel de la economía, una elevada capacidad de transformación de las condiciones determinantes, en lo institucional y lo material, de la vida económica, social y cultural del país, una aptitud de la sociedad para el disfrute pleno de los dones económicos y culturales, que en esencia constituyen la denominada calidad de vida.

Las prácticas socioeconómicas, orientadas en lo denominado como economía social y economía solidaria, cuya finalidad es aportar en la construcción de una sociedad equitativa, soportadas en el propósito comunitario como una alternativa sostenible para propiciar comportamientos organizacionales diferentes (Guadarrama, 2019).

Tanto la economía solidaria como la economía social, en la actualidad juegan un papel importante para algo trascendental para el mundo, como lo es el desarrollo sostenible (Lee et al., 2020), incluso es un tema innovador para los actuales gobiernos, quienes desde la contratación pública pueden transformar la forma de convenir este ejercicio fundamental, convirtiéndolos en instrumentos idóneos para alcanzar los objetivos sociales, económicos y ambientales que plantean los enfoques de sostenibilidad (Arnáez-Arce, 2020).

En el caso de México, la ESS se encuentra sustentada en el Artículo 25 de la Constitución Política pues señala:

Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales cuya seguridad protege esta Constitución [...] Al desarrollo económico nacional concurrirán con responsabilidad social, el sector público, el sector social y el sector privado, sin menoscabo de otras formas de actividad económica que contribuyan al desarrollo de la Nación.

Mediante este esquema, la Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión (2012) publicó la Ley de Economía Social y Solidaria el 23 de mayo de 2012 en el Diario Oficial de la Federación, la cual define a la ESS:

Como al conjunto de iniciativas socioeconómicas y culturales basado en el trabajo colaborativo de las personas y la propiedad colectiva de los bienes, para satisfacer las necesidades de sus integrantes y comunidades donde se desarrollan; en ámbitos diversos como lo pueden ser, los procesos de integración productiva, de consumo, distribución, ahorro y préstamo (Osorio, 2023, p. 7).

De este modo se establece también en el Artículo 4 que el sector de la ESS se conforma por seis formas de organización social: Ejidos, Comunidades, Organizaciones de trabajadores, Sociedades Cooperativas, Empresas que pertenezcan mayoritaria o exclusivamente a los trabajadores, y, en general, toda forma de organización social para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios socialmente necesarios.

Este estudio se realizó en la Región 8 Libres del Estado de Puebla, debido a que en esta zona de concentran actividades económicas relevantes del estado donde destacan empresas de gran magnitud económica: Empacadora San Marcos S.A. de C. V., Granjas Carroll De México S. De R. L. De C.V., Audi de México, Heineken México, que concentran gran cantidad del personal ocupado de la región. En este sentido resultó importante identificar la existencia de actividades relacionadas con la ESS a la par de actividades económicas tradicionales. La Tabla 1 muestra el número de empresas que existe en la región por cada uno de los municipios que la conforman, y se observa que el municipio de San Salvador El seco concentra al 25% del total, es decir, un solo municipio abarca una cuarta parte de las empresas con una estructura de Micro, Pequeña y Mediana Empresa; el segundo municipio con mayor participación de empresas es Libres con 22%. En conjunto, estos dos municipios casi concentran el 50% de las unidades económicas de la región.

Tabla 1. *Número de empresas en la Región 8 Libres, Puebla*

Municipio	Número de empresas	Porcentaje de empresas de la Región	Número de MIPyMES
Cuyoaco	471	5%	471
Libres	2267	22%	2265
Mazapiltepec de Juárez	96	1%	96
Nopalucan	1036	10%	1034
Ocotepec	106	1%	106
Oriental	761	8%	761
Rafael Lara Grajales	1504	15%	1503
San José Chiapa	362	4%	358
San Salvador El Seco	2504	25%	2503
Soltepec	441	4%	441
Tepeyahualco	535	5%	535
Total, de la Región	10083	100%	6641

Fuente: Elaboración propia con base en el Directorio Estadístico de Unidades Económicas, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2024).

Por otro lado, en la Figura 1 se muestra que las empresas con mayor participación considerando el sector de actividad económica es el sector 46, que corresponde a Comercio al por mayor con 44% de participación, lo cual coincide con la tercerización de la economía a nivel

nacional; en segundo lugar, se encuentra al sector 31-33 de las Industrias manufactureras con 20%, lo cual tiene sentido al retomar a las empresas más relevantes de la región. Destaca también la participación del sector 81 Otros servicios excepto actividades gubernamentales con 12%.

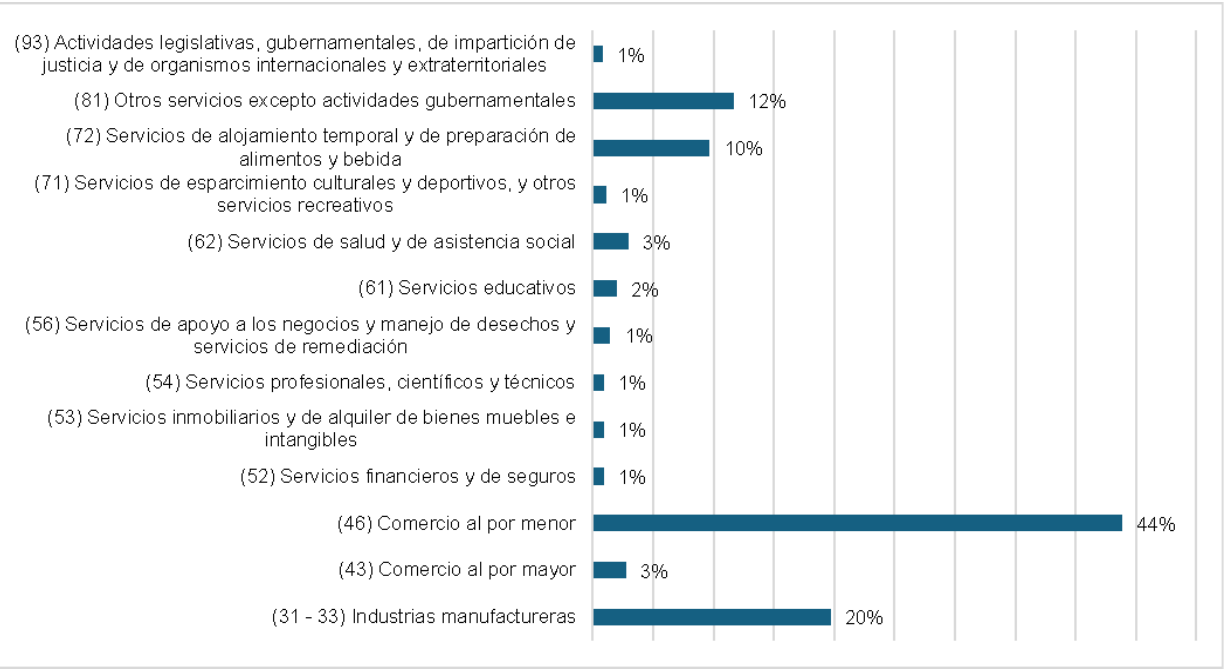


Figura 1. Porcentaje de empresas de acuerdo con el sector de actividad económica.

Fuente: Elaboración propia con base en el Directorio Estadístico de Unidades Económicas, INEGI (2024).

Al mismo tiempo, se consultó la información estadística del Instituto Nacional de la Economía Social (INAES), quien se encarga de fomentar las políticas públicas de fomento e impulso al sector social de la economía. Al ser el organismo encargado de diseñar, implementar y coordinar los Nodos para el Impulso de la Economía Social y Solidaria (NODESS), se obtuvo información de la existencia de 116 de ellos a nivel nacional distribuidos en cinco zonas: Frontera Norte, Norte, Centro Occidente, Centro y Sureste (INAES, 2023).

El estado de Puebla se encuentra ubicado en la Zona Centro junto con los municipios de Ciudad de México, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos y Tlaxcala. El estado cuenta con nueve NODEES registrados: CECCAN, CHOLLOLAN, Nodo Economía Social y Solidaria UTTECAM, Ecoturismo y su Cadena de Valor, NODESS ESSALIA Alianza por el Buen Vivir, Fundación UPAM, Nodo de Impulso a la Economía Social y Solidaria de la Mixteca Poblana, NODESS TecNM Acatlán

de Osorio “Un Tejido Comunitario para el Desarrollo Regional” y NODESS UPPUEBLA. A continuación, en la Tabla 2 se describen sus características.

Tabla 2. Características de los NODESS en el estado de Puebla

Nombre del NODESS	Año de creación	Líneas temáticas estratégicas	Municipios	Acciones
CECCAN	2019	- Economía Social y Solidaria. - Gestión y fortalecimiento empresarial. - Ahorro y Préstamo popular. - Jóvenes	- San Salvador, El Seco - San Andrés Cholula - San Pedro Cholula - Puebla - Atlixco.	- Gestiona, capacita y acompaña empresas asociativas, colectivos y emprendimientos cooperativos preferentemente con jóvenes. - Impulsa Grupos de Financiamiento Autogestivo.
CHOLLOLLAN	2020	Economía Social y Solidaria. - Gestión y fortalecimiento empresarial. - Autonomía productiva y de consumo.	- Municipio de San Andrés Cholula - San Miguel Xoxtla - Santa Isabel Cholula.	Formación cooperativa a iniciativas agropecuarias y de producción agroecológica entre los productores inmediatos a Cholula.
NODESS TecNM Acatlán de Osorio “Un tejido comunitario para el desarrollo regional”	2020	- Economía Social y Solidaria. - Gestión y fortalecimiento empresarial. - Energía sustentable y comunitaria. - Jóvenes	- Acatlán de Osorio - Guadalupe Santa Ana - San Pablo Anicano.	- Promueve el emprendimiento, la innovación social y el desarrollo sustentable entre los artesanos del municipio de Acatlán de Osorio. - Impulsa emprendimientos asociativos entre jóvenes con asistencia técnica especializada para el desarrollo de competencias laborales. - Impulsa el diseño de prototipos, tales como: estufas solares, deshidratador solar, huertos, composteo.
Nodo de Impulso a la Economía Social y Solidaria de la Mixteca Poblana	2020	- Economía Social y Solidaria. - Gestión y fortalecimiento empresarial. - Innovación social. - Autonomía productiva y de consumo.	Izúcar de Matamoros	Promueve la producción agroecológica y el emprendimiento local en el municipio de Izúcar de Matamoros.
NODESS ESSALIA Alianza por el Buen Vivir	2020	- Economía Social y Solidaria. - Gestión y fortalecimiento empresarial.	- Atlixco, - Calpan - San Lorenzo Almecatla	Impulsa un modelo integral de intervención social y económica mediante talleres de formación y capacitación para crear cadenas de

		- Innovación social.	- San Martín Texmelucan - Xochitlán de Vicente Suarez - Tetela de Ocampo - Zacapoaxtla - Cuautempan - Cuetzalan del Progreso	valor entre productores sociales de la ciudad de Puebla.
Ecoturismo y su Cadena de valor	2022	- Economía Social y Solidaria. - Turismo. - Innovación social.	- Cuetzalan - Tlatlauquitepec - Zacapoaxtla.	Impulsa la organización de artesanos, productores agropecuarios y microempresas ecoturísticas de la Sierra Norte de Puebla
Nodo Economía Social y Solidaria UTTECAM	2023	- Economía Social y Solidaria. - Ahorro y Préstamo p	Tepeaca	Promueve la educación financiera entre los Organismos del Sector Social de la Economía de la región de Tecamachalco.
NODESS UPPUEBLA	2023	- Economía Social y Solidaria. - Ahorro y Préstamo popular. - Innovación social	- Puebla - Juan C. Bonilla	Impulsa emprendimientos asociativos entre los productores rurales y promueve la educación financiera para el desarrollo de esquemas de ahorro y préstamo local.
Fundación UPAM	2023	- Economía Social y Solidaria. - Cultura de Paz y buen vivir.	Amozoc	Mediante la promoción de acciones deportivas, de salud y de emprendimiento entre la población local, consideran que mejorarán las condiciones de vida de los habitantes del lugar.

Fuente: Elaboración propia con base en el Directorio Red Nacional de NODESS (2023).

En resumen, se ha identificado que existen pocos NODESS en el Estado de Puebla y que solo uno de ellos considera al municipio de San Salvador El Seco, perteneciente a la región 8 Libres. Los municipios cercanos a la región son Tlatlauquitepec, Zacapoaxtla y Cuetzalan, pero pertenecen a otra región, con otras vocaciones productivas que se reflejan en la actividad ecoturística. El resto de los NODESS se concentran en municipios que se encuentran en el centro del estado, dentro de la zona conurbada de la ciudad de Puebla. En consecuencia, este resulta ser un problema para que pueda verse permeado el modelo de ESS a nivel municipal dentro de la región, pues existe una concentración geográfica y de actividades productivas muy específicas.

Es por lo anterior que surge el interés de indagar por qué no existen este tipo de nodos en el resto de la región 8 Libres, por lo que se plantea como objetivo verificar la funcionalidad y características de la ESS, que a su vez permitirá identificar elementos que contribuyan a fomentarla.

Materiales y métodos

Se realizó un tipo de investigación descriptivo que permita identificar las características de la percepción de la población sobre la ESS en la región mediante el diseño de una encuesta que considera preguntas referentes a características socioeconómicas de la población encuestada, así como también de un apartado referente al conocimiento de la ESS y de los NODESS. Como se observa en la Tabla 1, la población total de los once municipios correspondientes a la Región 08 de Libres da un total de 204,189 personas, de las cuales 90,792 son Población Económicamente Activa (PEA), y el total de la población Ocupada es de 87,291 personas, que se convierte en el número de población a considerar para el muestreo estadístico.

Tabla 3. Estructura poblacional de la Región 8 Libres, Puebla

Municipio	Población Total	Población Económicamente Activa (PEA)	Población Ocupada
Cuyoaco	17,139	7,242	7,138
Libres	37,257	17,508	17,209
Mazapiltepec de Juárez	3,176	1,235	1,184
Nopalucan	32,772	14,119	13,596
Ocoatepec	5,077	1,839	1,800
Oriental	19,903	9895	8,673
Rafael Lara Grajales	15,952	6,532	6,174
San José Chiapa	10,443	4,379	4,170
San Salvador El Seco	30,639	14,443	14,183
Soltepec	12,631	5,415	5,302
Tepeyahualco	19,200	8,185	7,862
Total, de la región	204,189	90,792	87,291

Fuente: Elaboración propia.

Al conocer el número exacto de la población de estudio, se aplicó un muestreo probabilístico aleatorio simple con población finita, aplicando la fórmula correspondiente.

$$n = \frac{Z^2 pqN}{N e^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

Z= Nivel de confianza (99%, que equivale al valor z de 1.96)

p= Probabilidad a favor (0.5)

q= Probabilidad en contra (0.5)

e = Error de estimación (0.05)

N= Población (87,291 personas ocupadas)

Al sustituir los datos en la fórmula y realizar el cálculo, se obtuvo una muestra de 382 personas. Al mismo tiempo, fue realizado el cálculo de la muestra por estratos, que corresponden a los municipios que pertenecen a la región, cuyo resultado de muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4. *Determinación del tamaño de la muestra*

Municipio	Tamaño de muestra
Cuyoaco	31
Libres	75
Mazapiltepec de Juárez	5
Nopalucan	60
Ocotepec	8
Oriental	38
Rafael Lara Grajales	27
San José Chiapa	18
San Salvador El Seco	62
Soltepec	23
Tepeyahualco	34
Muestra total	382

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Dentro de las características personales de los encuestados, destaca la participación femenina con 62%, mientras que el género masculino presentó un porcentaje de 38%. También destaca que la edad promedio de los encuestados fue de 26 años, lo cual remite a una población ocupada en edad muy productiva y con mucha participación femenina en el mercado laboral de la región.

En la Figura 2 se aprecian los resultados del nivel educativo de los encuestados, donde se destaca que 47% cuenta con estudios de preparatoria o bachillerato, seguido de 31% con nivel educativo superior. Esto se relaciona con los esfuerzos estatales y nacionales de impulsar mayores niveles educativos en la población, lo cual se ve reflejado en el incremento de la educación de nivel medio superior.

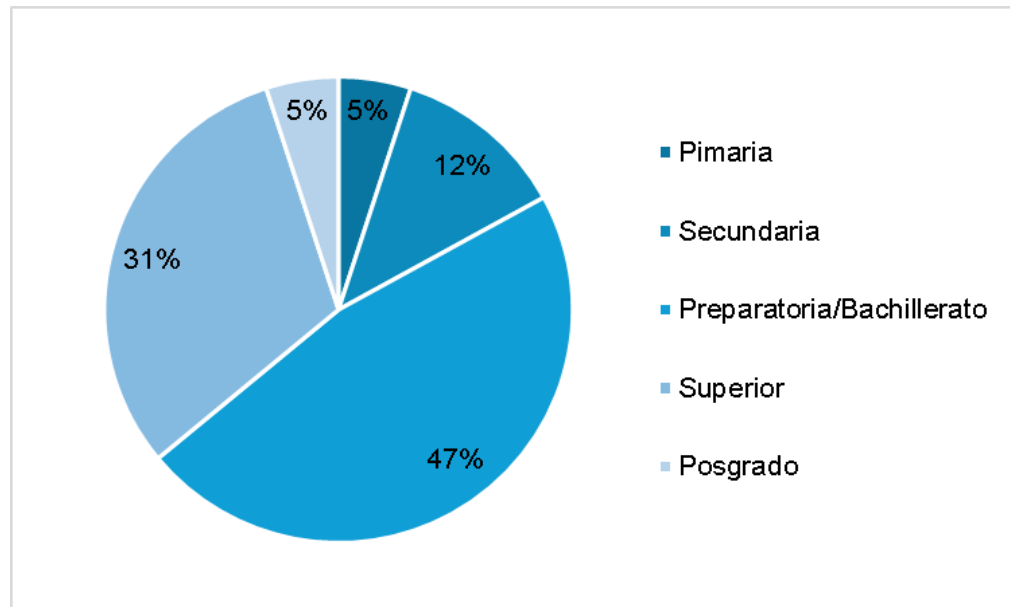


Figura 2. Nivel educativo de los encuestados (porcentaje).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se observa que 60% de los encuestados laboran como empleados en las unidades económicas de sus municipios, aunque también 28% de ellos se desempeñan como trabajadores independientes. Esto es importante porque es claro que la absorción de la mano de obra en los municipios por parte de las empresas es muy alta; pero al mismo tiempo se observa las intenciones de la población por emprender negocios propios, o bien laborar por cuenta propia mediante la prestación de un servicio.

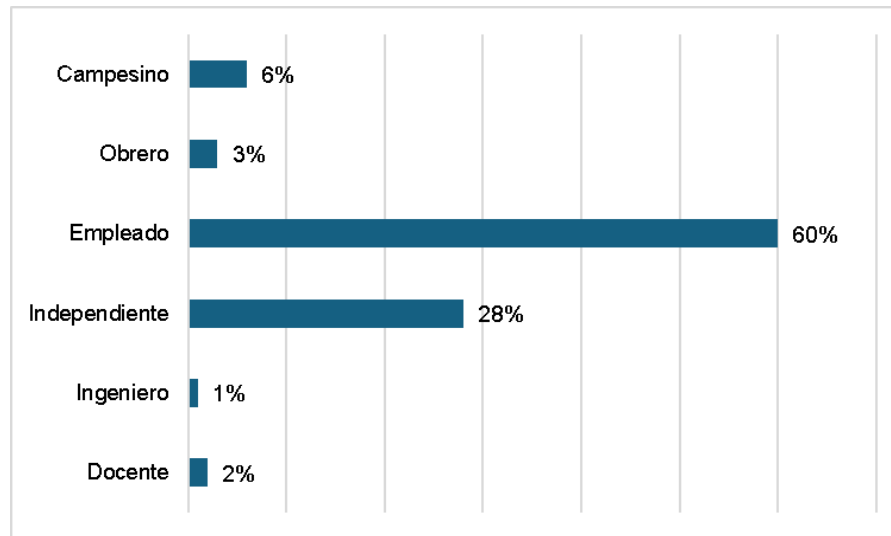


Figura 3. Ocupación de los encuestados (porcentaje).

Fuente: Elaboración propia.

En términos de ingresos económicos, se identificó que, en promedio, los encuestados manifestaron percibir ingresos mensuales de \$7,500 pesos mexicanos (MXN), lo cual puede ser congruente si se considera que para el año 2024 el salario mínimo se encuentra en \$248.93 MXN diarios.

Con respecto al apartado del conocimiento de la ESS y NODESS, se identificó que 97% de la población encuestada desconoce el concepto de ambos. El mismo porcentaje manifestó que no conoce ninguna actividad relacionada con ESS en su municipio. Esto tiene que ver con el hecho de que no hay promoción adecuada de estas actividades a nivel local, mucho menos en zonas rurales-urbanas, que es el caso de toda la Región 8, pues pese a la existencia de empresas de renombre, las condiciones de acceso a la información no son las adecuadas.

Por otro lado, solo 25% considera que no existe desarrollo social en su municipio aún con la generación de empleo por parte de las empresas existentes, y sólo el 18% considera que su nivel de vida ha mejorado gracias a las actividades económicas locales.

De igual modo, 70% de los encuestados no sabe lo que son las cooperativas ni conocen alguna existente dentro de su municipio. En este sentido los encuestados también manifestaron el interés por conocer el modelo de la ESS, así como también en funcionamiento de los organismos encargados de su ejecución en el país.

Conclusión

Si bien la economía social y solidaria en México ha mostrado resultados positivos en varios aspectos, especialmente en términos de inclusión social, desarrollo comunitario y sostenibilidad económica, también enfrenta desafíos, como la falta de apoyo gubernamental y la necesidad de mejorar el acceso a la información en zonas rurales. Esto tiene que ver con el hecho de que la población encuestada en esta investigación está más familiarizada con modelos económicos tradicionales capitalistas y desconfían de alternativas que no conocen.

En áreas rurales o menos favorecidas, la falta de acceso a información y recursos puede dificultar el conocimiento sobre iniciativas de economía social, y, en consecuencia, se dificulta la promoción y formación de NODESS o de al menos organizaciones que promuevan actividades productivas con un enfoque social, de colaboración y beneficio común.

Para mejorar esta situación, es fundamental fomentar la educación y la sensibilización sobre la economía social, promoviendo su visibilidad y sus beneficios en la vida cotidiana. Se puede comenzar con la elaboración de un diagnóstico de las vocaciones productivas locales que pueden potencializarse; posteriormente convendría continuar el proceso con apoyo y asesoría especializada mediante los gobiernos locales, fundaciones u organizaciones que trabajen con NODESS, pues es importante recordar que el aspecto de la conformación legal y obtención de recursos es fundamental para operar correctamente.

La expectativa que queda de la ESS es que no logra permear en segmentos de la población con bajos recursos y bajos niveles educativos, pues existe incertidumbre por apostar a un modelo que no permite visualizar los beneficios que se han suscitado en algunos casos, pues como se pudo observar, en el estado de Puebla solo se han conformado 9 NODESS y geográficamente desarrollados en zonas con mucha relevancia económica.

Referencias

- Arnáez-Arce, V. M. (2020). El fomento del cooperativismo a través de la contratación pública sostenible. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 133, e67339.
<https://revistas.ucm.es/index.php/REVE/article/view/67339>
- Arruda, M. (2007). Intercambiando visiones sobre la socioeconomía solidaria. Disponible en:
<http://www.dhl.hegoa.ehu.es/recursos/455>

- Bidet, E. (2010). Social Economy. In *International Encyclopedia of Civil Society* (pp. 1405-1410). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-93996-4_90
- Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. (2012, 23 de mayo). *Ley de la Economía Social y solidaria*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LESS.pdf>
- Guadarrama, S. G. J. (2019). El modelo de fundaciones comunitarias en México: una aproximación desde la perspectiva de los bienes comunes. *Cooperativismo y Desarrollo*, 27(115). <https://doi.org/10.16925/2382-4220.2019.02.07>.
- Guerra, P. (2004). Economía de la solidaridad, Consolidación de un concepto a veinte años de sus primeras elaboraciones. *Oikos: Revista de la Escuela de Administración y Economía*, (17), 1-11. <http://www.asocam.org/sites/default/files/publicaciones/files/36fd91ca0798114d29740e0678021b8c.pdf>
- Guerra, P. (2012). *Economía de la Solidaridad. Una introducción a sus diversas manifestaciones teóricas*. Tripod. <http://pabloguerra.tripod.com/Brecha.htm>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024). Directorio *Estadístico de Unidades Económicas* (DENUE). <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Instituto Nacional de la Economía Social [INAES]. (2023). *Directorio Red Nacional de NODESS*. [Directorio NODESS 2023 versión Alfabético 17 de Jul \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx/directorio-nodess)
- Lee, S. (2020). Role of social and solidarity economy in localizing the sustainable development goals. *International Journal of Sustainable Development y World Ecology*, 27(1), 65-71. <https://doi.org/10.1080/13504509.2019.1670274>
- Manríquez G., N., Martínez G., F., & Colín C., S. (2017). Reflexiones en torno a la economía solidaria: una revisión de la literatura. *Iztapalapa. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 83(38), 11-42. <https://revistaiztapalapa.izt.uam.mx/index.php/izt/article/view/34>
- Osorio, A. F. (2023). *Material Didáctico. Módulo 2. Contexto de la Economía Social y Solidaria*. Diplomado en Economía Social y Solidaria, TecNM.

**Irma Angélica García González¹, María Salomé Alejandre Apolinar¹, Hugo Amores Pérez¹, Sagrario Alejandre Apolinar²,
María Graciela Hernández y Orduña³**

Página 38

Resumen

La recopilación y análisis de información sobre la población rural en situación de pobreza en México es fundamental para el diseño de estrategias que promuevan el bienestar y fortalezcan la seguridad alimentaria. En Carrizal, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, el 40.87% de sus 14,509 habitantes, en su mayoría mujeres, vive en pobreza. Su economía depende del sector agropecuario. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], la falta de oportunidades laborales ha incentivado la migración, dejando a los adultos mayores como los principales responsables de las labores agrícolas. Sin embargo, estos disponen de áreas de cultivo en sus hogares, lo que representa una oportunidad para implementar soluciones tecnológicas que optimicen la producción de alimentos en espacios urbanos y semiurbanos. En este contexto, se diseñó un sistema automatizado de riego para huertos de hortalizas en traspatios, con el fin de mejorar la eficiencia del uso del agua y el rendimiento de los cultivos. Los objetivos incluyen el diseño implementado por un sistema a base de sensores FC-28 para medir la humedad del suelo y módulos de reloj para programar ciclos de riego, gestionados por un microcontrolador. Los resultados mostraron un crecimiento superior de las hortalizas bajo riego automatizado en comparación con el riego manual. Además, se evidenció una reducción del consumo de agua y del esfuerzo físico en el mantenimiento de los cultivos. La automatización del riego fortalece la autosuficiencia alimentaria en comunidades rurales y urbanas, promoviendo un uso eficiente del agua y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental en la agricultura de pequeña escala.

Palabras clave: Hortalizas, riego automatizado, seguridad alimentaria, sensores de humedad, sostenibilidad.

Introducción

La agricultura se ha transformado en un sistema industrializado, convirtiéndose en un serio obstáculo para la soberanía alimentaria de los pueblos, sobre todo los que se encuentran en marginación, por su derecho a definir sus propias políticas sustentables de producción, distribución y consumo de alimentos, garantizando el derecho a la alimentación para toda la población (Fernández, 2016).

La soberanía alimentaria se logra a través de la seguridad alimentaria y nutricional, la cual aborda lo siguiente: 1) disponibilidad de alimentos, 2) acceso económico y físico a los mismos, 3) utilización de los alimentos y 4) estabilidad en el tiempo. Por lo que una de las soluciones que se han propuesto es apoyar a las zonas marginadas de nuestro país en la implementación de huertos, específicamente de traspatio, con la tecnología apropiada para el manejo de los recursos como el agua y de fácil acceso para el usuario final, que en este caso son adultos mayores (Giraldo et al., 2022; López & Ortiz, 2021; High-Level Task Force on Global Food Security [HLTF], 2010; Comité de Seguridad Alimentaria Mundial [CSA], 2010).

Algunos estudios donde estas prácticas generan seguridad alimentaria fueron en la comunidad de Cuilápam de Guerrero, Oaxaca, que durante la pandemia de covid-19 en 2021, algunos residentes se vieron en la necesidad de generar horticultura en sus hogares, a través de implementar huertos familiares agroecológicos, formando equipos de 10 miembros con el propósito de avanzar hacia la agricultura ecológica con el fin de cultivar alimentos con más beneficios para la salud (Castellanos et al., 2024). Otro estudio generado en torno a la seguridad alimentaria fue el realizado en las comunidades de Chiapas y Tabasco, donde se encuestaron a 180 productores de 50 localidades, los cuales arrojaron resultados en relación con la diversidad biológica representada en los huertos de traspatio donde se cultivaron diversas hortalizas, entre las más representativas los cebollines, además de plantas medicinales, flores de ornato y árboles frutales que contribuyeron a la seguridad alimentaria de las comunidades por el acceso, utilización y disponibilidad que se ve reflejado en el sustento familiar (Martínez et al., 2023).

Estos huertos son una alternativa para poder cultivar de manera orgánica en beneficio de las familias que se encuentran en esta situación extrema (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018). De acuerdo con el artículo de Western Sydney University (2018), la agricultura urbana de plantas y hortalizas dentro de estas zonas es la proyección a futuro (FAO, 2018), ya que esta proporciona aproximadamente entre el 10% y 15% del suministro de alimentos dentro de las mismas ciudades (Fernández, 2016), y la producción sigue aumentando.

Dicha agricultura puede tomar muchas formas, desde camas con tierra en la azotea, huertos urbanos, granjas urbanas o cualquier otro medio para producir hortalizas y plantas en áreas urbanas. Como ha ocurrido en otros países, estas iniciativas de autosustentabilidad de la población para la producción de vegetales y hortalizas dentro de zonas urbanas han ido en aumento (Soto, 2018).

Este crecimiento significativo es debido a su potencial para mejorar y promover la sostenibilidad y ofrecer una fuente de alimentos frescos y saludables (Fontalvo-Buelvas et al., 2024). Este aumento en la demanda ha impulsado la implementación de tecnologías avanzadas que buscan optimizar la producción y reducir los recursos necesarios, entre otros, como el agua empleada, particularmente en áreas donde el acceso a tierra cultivable es limitado (Hernández et al., 2020). Desde 2019, la tecnología aplicada a estas huertas ha evolucionado considerablemente, al abarcar desde sistemas de riego inteligentes y automatización de la fertilización hasta herramientas de monitoreo remoto mediante dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) (Pérez et al., 2021; Fernández y Ríos, 2023).

Estos avances se han centrado en mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y los nutrientes, así como en facilitar la gestión autónoma de cultivos para pequeños productores urbanos y suburbanos, como son los sistemas de riego inteligentes donde estudios de Hernández et al. (2020) han demostrado que los sistemas de riego automatizados pueden reducir el consumo de agua en un 30% sin afectar negativamente el rendimiento de las plantas.

Presenta un panorama técnico y actualizado sobre la automatización de las huertas de traspatio, basado en estudios y desarrollos recientes (Rojas y Palestina, 2017), que son factibles de implementar en zonas de marginación donde los usuarios potenciales son adultos mayores que adolecen de este acercamiento a la tecnología y tienen menos vitalidad para realizar trabajos de campo. Sin embargo, cuentan con parcelas aledañas a sus casas donde es factible el desarrollo de un sistema acorde a las necesidades de su entorno.

El proyecto se desarrolló en la localidad de Carrizal, perteneciente al municipio de Emiliano Zapata, ubicado en la zona central del estado de Veracruz, México. Esta ciudad cuenta con una población de 61,718 habitantes, lugar donde residen 3,838 personas, distribuidas entre 1,109 hogares. Esta comunidad enfrenta diversas problemáticas relacionadas con el aumento del costo

de los productos de la canasta básica y la migración de su población joven en busca de mejores oportunidades laborales, lo que ha afectado a las familias, especialmente a los adultos mayores, quienes quedan al cuidado de los más jóvenes (Olmos, 2010).

La agricultura familiar ha sido la actividad crucial para la comunidad, pero con el envejecimiento de la población, la capacidad de continuar con las labores agrícolas se ve comprometida, lo que agrava aún más la situación de inseguridad alimentaria y pobreza en la región, la cual cuenta con un clima cálido subhúmedo con lluvias, presentando una temperatura promedio anual de 25.2 °C, propicio para prácticas agrícolas (Weather Spark, 2018).

Por lo que es factible el empleo de tecnologías automatizadas para generar los huertos que permitan el autoconsumo y contribuyan a la seguridad alimentaria en esta zona, siendo las hortalizas un componente esencial en este tipo de iniciativas para obtener productos en ciclos cortos (Venegas, 2017).

Esta propuesta incide en la agenda estratégica de autosuficiencia alimentaria y rescate del campo mexicano, la cual busca implementar tecnologías que mejoren la producción agrícola en espacios limitados y con recursos controlados. El objetivo principal de esta contribución es diseñar y evaluar un sistema de riego automatizado que permita optimizar el consumo de agua en huertos de traspatios urbanos, mejorando así el rendimiento de las hortalizas (Pech de la Portilla et al., 2023).

Materiales y métodos

El proyecto consistió en la implementación de dos camas de cultivo construidas con materiales reciclables de manera contigua, como polines obtenidos de las estructuras de pallets de madera que son desechados por los trailers de carga que circulan por la carretera federal Xalapa-Veracruz de gran afluencia por el puerto de carga marítima. Las camas se construyen con las siguientes medidas: 1 m de ancho por 4 m de largo, con una profundidad de 35 cm, escarbando 5 cm con un desnivel de 2% bajo el nivel de la tierra para quitar piedra y maleza, mismo que sirve para generar una cama de grava y piedra del río circundante para efecto de dren natural del agua excedente de la cama que pueda existir cuando llueve (Pantoja y González, 2014).

El relleno de tierra fue una mezcla de composta generada previamente con excremento de caballo, compostaje de los residuos orgánicos proporcionados de la misma vivienda y tierra de hojarasca recolectada de la misma parcela (Condelmend. 2018). Las semillas con las que se inicia el desarrollo son: rábano, zanahoria y lechuga, en cada caso se realiza una preselección que consiste en colocarlas en un vaso con agua y dejarlas reposar 30 min (Valla, 1979). Este tratamiento de inhibición y flotación sirve en dos aspectos: primero, hidratarlas y segundo observar cuáles son más secas de lo normal porque flotan, eliminando estas últimas para contar con un alto porcentaje de germinación (Curcio, 2019).

Las semillas seleccionadas se colocan dentro de la cama con la separación y profundidad requeridas según sea el caso, cada una en una hilera, formando tres hileras dentro de la cama. Con la finalidad de que exista una línea de manguera de ¼" destinada para cada hilera, con las salidas de los irrigadores cada 20 cm, que permite activar la electroválvula a partir del sensor de humedad (FC-28) (Pena. 2018) y el de temperatura (DHT-11) conectados a un sistema de control por microcontrolador mediante Arduino (Vargas & Dávila. 2018). Instalando en época de verano en dos patios traseros contiguos de familias parentales, padres de edad avanzada, mayores de 60 años y abuelos de más de 80 años, los cuales tienen a su cuidado a los nietos, en su mayoría menores de 15 años.

El diseño del sistema incluyó un módulo de reloj (DS3231) para programar los tiempos de riego y actuadores para controlar la apertura y cierre de las válvulas de agua. De tal manera que los sensores alimentaban la entrada de datos al sistema y la lógica de programación permite revisar el horario y las condiciones existentes para determinar si es requerido el riego, debido a que las camas se encuentran a cielo abierto. Se resguardan del excedente de calor y luz solar a través de malla sombra y hojarasca para evitar la evapotranspiración.

Los datos se obtienen de los sensores de humedad y temperatura colocados uno en cada línea de hortaliza a una profundidad de 5 cm, los cuales son monitoreados durante las 24 horas al día, con intervalos de medición cada tres horas, debido a los estudios previos realizados sobre los cambios de humedad relativa que se tienen en el ambiente.

El riego se activaba automáticamente cuando la humedad del suelo disminuye de un umbral del 40% debido a que se realiza en época de lluvia, teniendo como observación las

condiciones medioambientales del año anterior y seguir con las características de humedad requeridas para el tipo de hortaliza y sustrato preparado, así como la temperatura ambiental que se mantiene entre los 17 °C y 29 °C. Caso contrario al no cumplirse las condiciones por causa de lluvia presente y se sature el suelo, no se activará el riego, lo que permite un ahorro de este recurso y la dosificación pertinente según sea el caso de la hortaliza que se cultive, ya que cada hilera de siembra cuenta con las especificaciones de la hortaliza particular (González et al., 2022).

Durante el proceso de cultivo se realizaron mediciones manuales cada 5 días durante el verano, tomando como muestra tres plantas de cada hilera y comparándolas con las plantadas en el mismo patio con riego manual, para observar la diferencia del proceso controlado. El proceso de medición de las plantas se lleva a cabo empleando instrumentos como el vernier para evaluar el grosor, en la medida de alturas, el flexómetro y la regla. Se comparó con datos obtenidos de literatura y la cama sin riego automático, para evaluar los resultados.

Para realizar la integración del sistema de control, se diseñaron los circuitos con el uso del software fritzing, posteriormente, mediante el empleo de cloruro férrico, se fabrican las placas (PCB), donde se soldaron los componentes electrónicos, quedando estructurado de manera compacta y segura para el manejo del sistema por los usuarios, que permite de una manera fácil y práctica instalarlo, ya que solo tienen que conectarlo a la energía eléctrica y los sensores enterrarlos en la tierra.

Resultados y discusión

Los resultados demostraron que el sistema automatizado de riego que se coloca de manera posterior a la creación de la cama y el llenado de ésta en conjunto con la siembra, como se muestra en la figura 1, tuvo una relación de gasto de agua contra productos generados significativamente mejor en el rendimiento que las hortalizas que se regaron manualmente, siendo un factor trascendente la preparación de la tierra con los abonos orgánicos, especialmente en las pruebas realizadas con rábanos y lechugas. En las zanahorias se concluye que la profundidad de la tierra es un factor importante que afectó el crecimiento.



Figura 1. *Material de fabricación, cama experimental y la réplica, sistema de control.*

Los rábanos mostraron un crecimiento óptimo con un tiempo promedio de cosecha de 22 días, mientras que las lechugas alcanzaron su tamaño ideal en 40 días. En la figura 2 se muestra la germinación a los 13 días aplicando riego programado.



Figura 2. *Germinación de plántulas.*

La figura 3 presenta el desarrollo de las plantas de rábano y lechuga durante el periodo de prueba del sistema.



Figura 3. Desarrollo del rábano y la lechuga en sistema de riego programado.

Se observó que las plantas regadas de manera automatizada mostraron un crecimiento más uniforme en comparación con las que recibieron riego manual, esto a través de las mediciones realizadas in situ (Tabla 1).

Tabla 1. Registro de los cultivos realizados en la huerta.

Tipo de planta	Profundidad de siembra	Distancia entre plantas	Días de germinación		Crecimiento de las hojas y/o fruto		Altura máxima aproximada		Días para cosechar	
			Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego	Con riego	Sin riego
Lechuga	1 a 3 cm	25 cm	3 – 7 días	8 - 18 días	15 a 20 cm	10 a 15 cm	25 cm (hojas)	15 cm	35 a 50 días	45 a 60 días
Rabano	2 cm	5 a 10 cm	5 – 10 días	8 - 15 días	5 cm (diámetro)	2 a 3 cm (diámetro)	20 cm (hojas)	17 cm	18 a 28 días	38 a 48 días
Zanahoria	0.5 a 1 cm	5 a 10 cm	7 - 20 días	12 - 22 días	13 a 20 cm (largo)	10 a 15 cm (largo)	18 cm	15 cm	68 a 98 días	68 a 98 días

Fuente: Elaboración propia.

Las características del riego manual se efectuaron por medio de una regadera de mano de 1.6 litros de capacidad, al tomar en cuenta la capacidad física de los adultos mayores para cargar, realizándose solo una ocasión al día por la tarde después de las 18:00 horas, a diferencia del sistema automático que se programa para realizar esta función a las 5 am y 20 horas, evitando que la tierra se encontrara muy caliente y provocara deterioro en el desarrollo de la planta. Esto siempre y cuando la humedad sensada por el dispositivo clavado en la tierra así lo requiera; caso contrario no se efectúa, evitando saturar el cultivo (Vildósola, 2018). En las situaciones de lluvia se observa que el drenaje de la cama funciona adecuadamente, donde no se tuvo encharcamiento después.

La discusión de los resultados sugiere que el control automático del riego no solo mejora la eficiencia del agua (Hernández et al., 2020)., sino que también reduce el estrés hídrico de las plantas, lo que impacta directamente en su crecimiento y productividad, aunado a la situación de practicidad para los adultos mayores que no tienen que estar regando las plantas. De manera particular, en el sistema de prueba se adicionó el suministro directo de un tanque elevado de agua, eficientando el flujo y aprovechando la energía potencial.

Se puede concluir que el sistema de riego automatizado desarrollado en este proyecto demostró ser una solución eficiente y sostenible para la producción de hortalizas en traspatios urbanos-rurales (Jiménez Montaña et al., 2024). Los resultados obtenidos indican que la automatización del riego no solo optimiza el uso de agua, sino también mejora el rendimiento y calidad de las cosechas. Este tipo de tecnologías es clave para avanzar en la agenda de autosuficiencia alimentaria en México, esto porque se alinea con las acciones que, como institución generadora de conocimientos, promueve el uso de tecnologías sostenibles en la agricultura urbana-rural, ya que la implementación de este sistema de riego en huertos familiares no solo contribuye al ahorro de agua, sino que también mejora la calidad y cantidad de alimentos producidos en espacios reducidos.

Finalmente, el uso de sensores y la automatización a través de estos sistemas permite reducir el tiempo y esfuerzo requerido por los agricultores urbanos-rurales, lo que facilita la adopción de estas tecnologías por parte de personas sin experiencia en agricultura. Asimismo, el sistema puede ser replicado fácilmente con materiales de bajo costo, lo que lo hace accesible para la mayoría de las personas que desean implementar un huerto en sus hogares.

Referencias

- Castellanos-Guzmán, D., Toledo-López, A., & Guzmán-Cruz, D. L. (2024). La transición agroecológica de los pequeños productores de huertos familiares. *Ciencias administrativas teoría y praxis*, 20(1), 66-87. Epub <https://doi.org/10.46443/catyp.v20i1.365>
- Comité de Seguridad Alimentaria Mundial (CSA). (2012). *Marco estratégico mundial para la seguridad alimentaria y la nutrición*. FAO. <http://www.fao.org/docrep/meeting/026/ME498.pdf>
- Condelmend, S. (2018). *Tipos de abonos Orgánicos*. El Huerto Urbano. <https://www.elhuertourbano.net/abonos/tipos-de-abonos-organicos/>
- Curcio, N. (2019). Manual de buenas prácticas de manejo para la producción de hortalizas orgánicas.
- Fernández, F. (2016). *Soberanía Alimentaria*. Editorial Icaria.
- Fernández, D., & Ríos, T. (2023). Robots agrícolas en huertas de traspatio: Potencial y desafíos. *Avances en Robótica Agrícola*, 18(2), 180-195.
- Fontalvo-Buelvas, J. C., Pulido-Silva, M. T., & Escalona-Aguilar, M. Á. (2024). Main problems in urban agriculture and leverage points. *Bitácora Urbano/Territorial*, 34(2), 243-257. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v34n2.112940>
- Giraldo Díaz, R., Cabrera, I. & Gómez, L. (2022). *Soberanía Alimentaria en América Latina y tenencia de la tierra en Colombia*. Universidad de Murcia: Editorial Grupo Eumed.
- González, P., Morales, J., & García, H. (2022). “Optimización de la fertilización en huertas de traspatio mediante sistemas automáticos”. *Revista de Innovación Agropecuaria*, 12(1), 75-89.
- High Level Task Force on Global Security Criss. (2010) *Updated Comprehensive Framework for Action*. FAO-http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ISFP/UCFA_Finak.pdf
- Hernández, A., Martínez, J., & Gómez, R. (2020). Eficiencia del riego automatizado en huertas de traspatio: Un análisis comparativo. *Revista de Tecnología Agrícola*, 45(2), 133-145.
- Jiménez Montaña, L. V., Martínez Gonzalez, A. M., & Castro Ortegón, A. (2024). Formulación de una idea de negocio sostenible para la producción de humus orgánico como fertilizante para

- cultivos de hortalizas en el municipio de Tuta -Boyacá. *Ingenio Magno*, 14(2), 44-52.
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/2946>
- López Jiménez, J., & Ortiz Pérez, S. (2021). LA CONTRIBUCIÓN DE LOS PROYECTOS POR UNA SOBERANÍA ALIMENTARIA AL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE DE ALICANTE. *Cuadernos De Geografía De La Universitat De València*, (106), 113–126.
<https://doi.org/10.7203/CGUV.106.20516>
- Martínez Valdés, M. G., Sánchez Gutiérrez, F., Pozo Santiago, C. O., Ríos Rodas, L., & Gerónimo Torres, J. del C. (2023). *La diversidad biológica de los traspatios: su uso en la alimentación y salud de las familias en Chiapas y Tabasco, México*. *Acta Universitaria*, 33, 1–17.
<https://doi.org/10.15174/au.2023.3578>
- Olmos D. (2010). *Sistema de información municipal*. SEFIPLAN.
<http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/Emiliano-Zapata.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2018), *Información básica sobre las huertas familiares*. FAO.
<http://www.fao.org/3/y5/112s/5112s03.htm>
- Pantoja A. & González M. (2014). *Una huerta para todos, manual de auto-construcción*. FAO.
<http://www.fao.org/3/a-i3846s.pdf>
- Pena, D. (2018). *Sensor de humedad FC-28*. Eodos <https://eodos.net/proyectos/sensor-de-humedad#.XT9FRJMzZ8c>
- Pech de la Portilla, J. G., Chan Chi, M. R., López May, C. H., & Martín Vela, J. A. (2023). *Implementación de un sistema de control para un huerto escolar en una comunidad rural del estado de Yucatán*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 6549–6563.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7426
- Pérez, M., Torres, L., & Ramírez, G. (2021). Aplicación de IoT en huertas urbanas automatizadas: Un enfoque práctico. *Ingeniería y Desarrollo Tecnológico*, 30(4), 210-223.
- Rojas, J. & Palestina, O. (2017) *El compostaje y su utilización en agricultura*. Editorial Salvat Impresores.
- Soto, M. (2018). *Técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización*. Editorial LIL.

- Vargas, J., & Dávila H. (2018). *Sistema de fácil análisis y almacenamiento de medidas con arduino*. Editorial. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Valla, J. (1979). *Botánica: Morfología de las plantas superiores*. Editorial Hemisferio Sur.
- Venegas B. (2017). *La huerta escolar como estrategia pedagógica para mejorar la percepción nutricional*. Editorial Universidad Los Libertadores.
- Vildósola, E. (2018). *Actuadores*. Soltex.
- Weather Spark. (2018). *Clima Xalapa*. Spark. <https://es.weatherspark.com/y/8684/Clima-promedio-en-Xalapa-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Western Sydney University. (2018). “Damage of CO2”. Journal of Ecology.
- Zoppolo, R., Bellenda, S., Faroppa, S., & García, M. (2008). *Alimentos en huerta (Guía para la producción y consumo saludable)*. INAI (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). https://www.paho.org/uru/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=publicaciones-promocion-de-la-salud&alias=176-alimentos-en-la-huerta&Itemid=307

**Héctor V. Narave Flores¹, María de los Ángeles Chamorro Zárate¹,
Yadeneyro de la Cruz Elizondo¹, Benito Hernández Castellanos¹**

Página 51

Resumen

Las instituciones de educación superior se caracterizan por su pertinencia social al responder a necesidades de diversos sectores de la población y por su aporte a las metas de los Objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) a través de sus funciones sustantivas. La vinculación universitaria contribuye en la formación de estudiantes al abrir espacios de participación para atender necesidades locales. El objetivo de este trabajo fue integrar un diagnóstico socio ambiental para identificar algunas necesidades en las comunidades rurales de Los Pescados y El Conejo, y analizar el aporte de las actividades del proyecto “Fortalecimiento de capacidades ante condiciones de vulnerabilidad socio ambiental y cambio climático en Agua de los Pescados y El Conejo, Perote, Ver.”. Se aplicó un cuestionario de preguntas abiertas a una muestra de la población adulta y se analizaron los talleres aplicados. Como resultado del diagnóstico se presentan aspectos sociales, económicos, ambientales de ambas comunidades; así como una descripción de los talleres de capacitación impartidos para mejorar las actividades agrícolas mediante la elaboración de biopreparados y la instalación de microtúneles. Se destaca el aporte de esta intervención en metas de algunos ODS, así como la contribución a las comunidades y en la formación de estudiantes de licenciatura.

Palabras clave: Formación, vinculación, educación.

Introducción

Las instituciones de educación superior tienen un papel fundamental al formar profesionistas y generar conocimiento que responda a las necesidades de los diferentes sectores. Al respecto, Gaete y Álvarez (2019, en Lacruhy 2024) reconocen la contribución de las Universidades para alcanzar los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) en el ámbito local, destacando la responsabilidad social y pertinencia al realizar actividades de vinculación con los diferentes sectores, así como prácticas de educación para la sustentabilidad. Asimismo, Zúñiga (2021), menciona que los futuros profesionistas deben contar con una formación coherente con enfoque de la educación para el desarrollo sustentable, por ello, las Instituciones de educación superior tienen el compromiso de establecer sistemas de gestión ambiental que ofrezcan las condiciones para que los estudiantes aprendan a través del ejemplo.

La Universidad Nacional Autónoma de México destaca que, a través de sus funciones sustantivas, las Instituciones de Educación Superior se encuentran en posibilidad de realizar acciones para impulsar los ODS (Solares Rojas et al., 2021). La Universidad Veracruzana ha asumido el compromiso de integrar la sustentabilidad en sus funciones sustantivas, por ello académicos y estudiantes participan en diversos proyectos de vinculación (Chamorro et al., 2014a), como el caso del proyecto “Fortalecimiento de capacidades ante condiciones de vulnerabilidad socio ambiental y cambio climático en Agua de los Pescados y El Conejo, Perote, Veracruz”, a través del cual se han implementado actividades en comunidades de la montaña.

En la zona montañosa central del estado de Veracruz, se localiza el Parque Nacional Cofre de Perote o Nauhcampatépétl, de gran importancia social y ambiental para la región, ya que allí se encuentran ecosistemas que en conjunto proporcionan diversos servicios ambientales, entre los que destaca la generación de acuíferos que abastecen de agua no solo a las localidades de la montaña, sino a varias poblaciones de los alrededores. Este parque se decretó en mayo de 1937, apenas unos meses después de la creación de varios ejidos en el mismo territorio, por lo que al interior o en las cercanías de esta área natural protegida se están asentadas varias localidades rurales, las que a la fecha carecen de diversos servicios básicos, así como de fuentes de empleo, tal es el caso de El Conejo y Los Pescados.

En estas localidades el grado de marginación es alto (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020); la población es considerada vulnerable debido a la incidencia de diversos factores como climas extremos (principalmente de bajas temperaturas), falta de servicios básicos, falta de empleo, afectaciones a la agricultura y ganadería por eventos climáticos, bajos precios para los productos agrícolas; afectación de los bosques por tala y plagas forestales, afectaciones a la salud humana por uso de agroquímicos, alteración de las propiedades del suelo. Los cultivos frecuentemente están expuestos a heladas provocadas por las bajas temperaturas que se registran en la montaña, así como a los bajos precios que los intermediarios pagan a los productores de esta región (Narave et al., 2013; Narave et al., 2016).

Los objetivos para los que fue decretado el Parque Nacional, como la conservación de los bosques y sus recursos naturales, hasta la fecha no se han cumplido, por el contrario, al paso del tiempo la superficie boscosa ha sido reducida considerablemente, incluyendo la de las dos

localidades del presente trabajo. Se estima el parque ha perdido el 50% de sus zonas boscosas; los suelos en diversas áreas se han erosionado; algunas especies de fauna silvestre han desaparecido; las fuentes de agua para las poblaciones han disminuido; en años recientes se han registrado cambios en el microclima de la zona, por mencionar algunos problemas ambientales (Chamorro et al., 2024b).

Rodríguez Sabiote (2019, en Cabeza y Jaula, 2022), considera fundamental realizar el diagnóstico ambiental como una acción planificada para obtener información sobre el problema a tratar o la situación por atender, a través de una intervención educativa. En este contexto se estructuró este trabajo con el objetivo de integrar un diagnóstico socio ambiental para identificar algunas de las necesidades en las comunidades rurales de Los Pescados y El Conejo, y analizar el aporte de las actividades realizadas en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades ante condiciones de vulnerabilidad socio ambiental y cambio climático en Agua de los Pescados y El Conejo, Perote, Veracruz” apoyado por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, y contribuir en algunas de las metas de los ODS.

El ejido Agua de Los Pescados del municipio de Perote, se ubica en la parte alta de la montaña, a una altitud de 3,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), la mayor parte dentro del Parque Nacional Cofre de Perote. Se fundó en el año 1936, con la dotación de 1622 hectáreas (ha), 872 de temporal y 730 ha de agostadero y “monte”. Los Pescados es el fundo legal del ejido, es considerada una comunidad marginada; con 1,694 habitantes, 360 viviendas habitadas, con servicio de luz eléctrica, agua, internet, cable, líneas telefónicas, alumbrado público, drenaje, una clínica de salud de primer contacto, un jardín de niños, una escuela primaria, una telesecundaria y un telebachillerato. El desempleo es alto, por lo que algunos habitantes salen a trabajar fuera de la comunidad (INEGI, 2020).

De acuerdo con Pérez-Salazar (2018) la mayoría de los jóvenes solo estudian hasta la secundaria; de los que concluyen educación media superior, el número que continúa con la educación superior es muy limitado, esto debido a la falta de recursos para continuar sus estudios fuera de la localidad. La principal actividad productiva es la agricultura, cultivando papa, haba, maíz, avena y trigo. Sin embargo, ante las problemáticas que enfrentan estas actividades sobre todo los “papales”, algunas parcelas son abandonadas, convirtiéndose en tierras de pastoreo,

desarrollando así esta actividad económica de ganadería, principalmente de ovicaprinos, y en menor escala de bovinos.

En algunas parcelas se desarrollan actividades agropecuarias bajo un sistema integrado mediante la rotación de diferentes cultivos, es decir, un año siembran papa, al siguiente año maíz, haba o avena. Posterior a la cosecha, el ganado se introduce a las parcelas a comer el rastrojo de cultivos, y con su estiércol ayuda a fertilizar la tierra (Pérez-Salazar, 2018). Recientemente algunos productores han iniciado el cultivo de ajo y cebolla.

La vegetación original está constituida por bosques de coníferas, dentro de las que destacan los bosques de pino, con especies como el chamaite (*Pinus montezumae*) y el pino chino (*Pinus teocote*), y los oyamemeles, representados por los abetos u oyameles (*Abies religiosa*). Existen otras especies como el ilite (*Alnus jorullensis*), el madroño (*Arbutus xalapensis*) y diversas especies de encinos (*Quercus spp.*).

Los Pescados destaca por las actividades de conservación, pues por decisión propia destinaron 600 ha de sus bosques para conservación, en una zona donde se generan los acuíferos que abastecen del 40% del agua a la ciudad de Xalapa. En este lugar se construyeron varias “cajas para captación de agua”, en el sitio denominado “Plan de Agua escondida”, en el que periódicamente los ejidatarios realizan diversas actividades de mantenimiento del bosque como brechas cortafuegos y podas forestales.

Localidad El Conejo

Constituye el fundo legal del ejido del mismo nombre, con una superficie de 768 ha, pertenece al municipio de Perote; todo el ejido se encuentra dentro del polígono del Parque Nacional Cofre de Perote. Tiene una población de 1,694 habitantes con un promedio de 5.5 habitantes por vivienda, lo que hace un total de 308 casas habitación (INEGI, 2020). Cuenta con un jardín de niños, una escuela primaria y una telesecundaria. En el año 2008, la Universidad Veracruzana mediante acuerdo con los ejidatarios estableció “La Casa de la Universidad”, como un espacio de vinculación con la comunidad para realizar proyectos conjuntos, brindar asesorías y capacitaciones, atención médica de primer contacto, prácticas de servicio social, trabajos recepcionales, así como de colaboración con dependencias municipales, estatales y federales, entre otras.

En cuanto a su vegetación, la localidad está rodeada por bosques de oyameles cuya especie representativa es *Abies religiosa*. En la parte más alta del ejido se pueden observar bosque de pino negro (*Pinus hartwegii*) y en la cima de la montaña pastizales alpinos o páramo de montaña, caracterizado por especies herbáceas.

Materiales y métodos

Para obtener la información del presente diagnóstico, se aplicó un cuestionario conformado por 32 preguntas abiertas a una muestra de la población adulta, al considerar el número de viviendas habitadas en cada una de las dos localidades. Las respuestas se concentraron en una base de datos para realizar el análisis cuantitativo y cualitativo, que arrojó información sobre aspectos sociales, ambientales y económicos. Posteriormente se realizó un análisis de las actividades realizadas en el proyecto “Fortalecimiento de capacidades ante condiciones de vulnerabilidad socio ambiental y cambio climático en Agua de los Pescados y El Conejo, Perote, Veracruz”, para identificar la contribución que estos tuvieron en algunas de las metas de los ODS.

Resultados

El cuestionario se aplicó a una muestra de 12% de la población adulta de la localidad Los Pescados y a una muestra de 10% de la población adulta en El Conejo. De las respuestas aportadas por los pobladores, en el presente sólo se abordan algunas correspondientes a aspectos sociales, económicos, ambientales. Referente a servicios básicos, ambas localidades cuentan con luz, agua (no potable), drenaje (que en El Conejo descarga cerca de la localidad sin tratamiento de aguas residuales), un centro de salud de primer contacto, pero no siempre hay atención ni medicamentos suficientes, por lo que consideran deficiente el servicio.

Un aspecto importante en el mantenimiento y organización en ambas comunidades son las asambleas ejidales, que se realizan al menos dos veces por año, en las que se toman acuerdos sobre el territorio, proyectos, bosque, agua, entre otros. Consideran que se requiere mejor organización y unión de las localidades del Parque Nacional para lograr mejores resultados, trabajar por el bien común, tener más fuentes de empleo, proyectos para las comunidades, y mayores apoyos para las mujeres.

En cuanto a actividades recreativas, la población joven y adulta practica deporte, principalmente béisbol, en menor grado fútbol y básquetbol; para estos deportes existen instalaciones, aunque no con la infraestructura adecuada. Los pasatiempos que tienen son realizar o asistir a ver algún deporte, carreras de caballos, o las fiestas del pueblo en las que destacan las de los Santos Patronos de las localidades y las de la Virgen de Guadalupe.

Las actividades económicas en ambas comunidades son agricultura de temporal, produciendo papa, haba, avena, trigo principalmente. La actividad que más recursos genera es el cultivo de la papa, aunque esto es intermitente pues unos años tiene buen precio, pero en otros no tiene valor, no reditúa, y en ocasiones no recuperan lo que invirtieron en el cultivo. La ganadería de especies menores también les permite obtener ingresos, aunque el número de personas que se dedican a esto es menor que los agricultores (Figura 1).

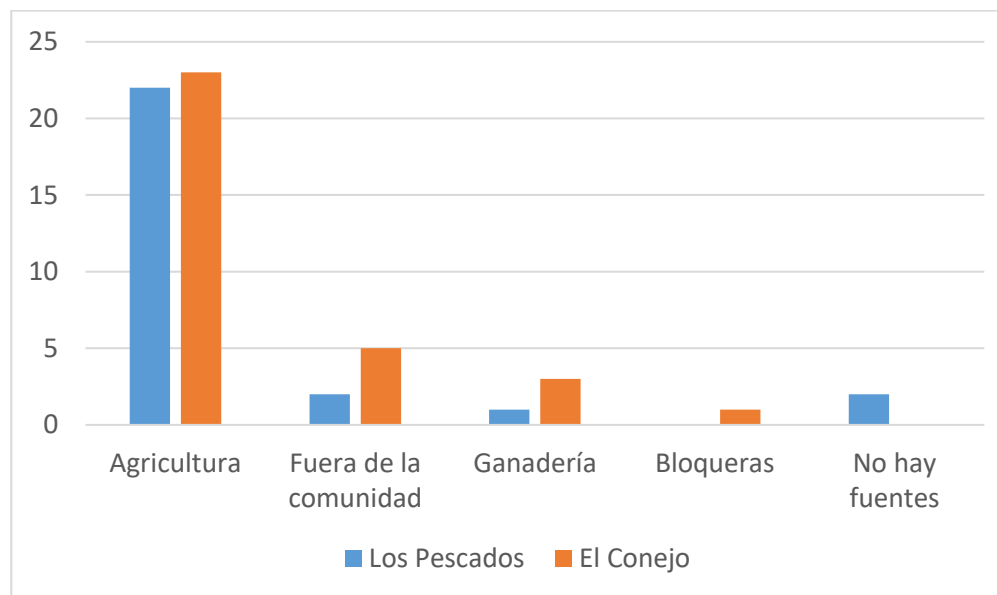


Figura 1. Actividades económicas en Los Pescados y El Conejo.

Dado que no hay suficientes empleos para todos los habitantes, algunos salen a trabajar como jornaleros agrícolas, empleados en fábricas de materiales de construcción (blockeras), o en bodegas de papa. Las mujeres en su mayoría atienden las labores domésticas como “amas de casa”, aunque algunas se emplean en trabajos domésticos fuera de su comunidad (Figura 2).

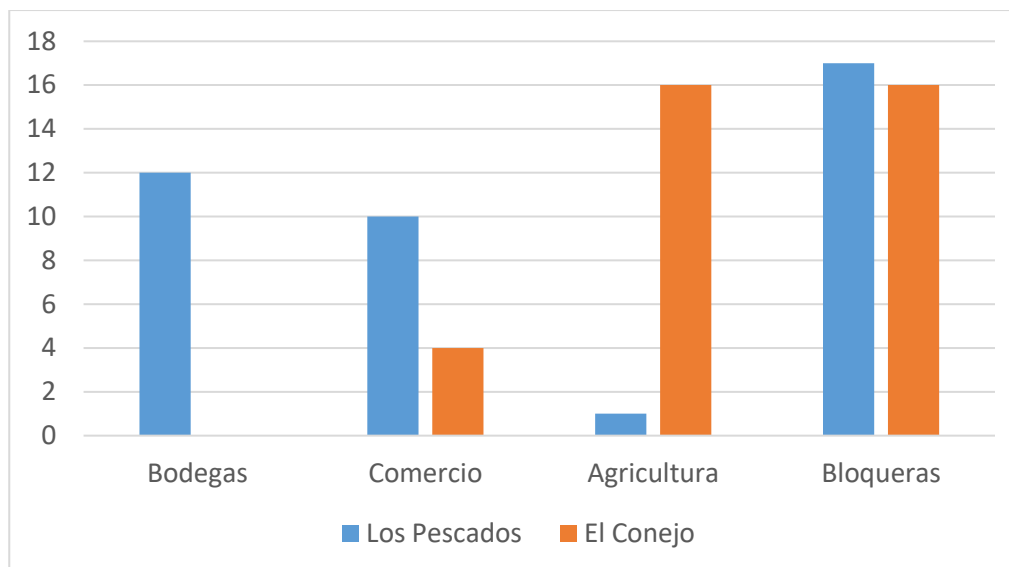


Figura 2. Actividades económicas fuera de las comunidades Los Pescados y El Conejo.

En ambas comunidades se enfrentan diversos problemas; por ejemplo, en los últimos años, se han observado cambios en el clima como disminución de lluvias y periodos de sequía más prolongadas, variación en las estaciones y temperaturas extremas. Es decir, más frío o más calor, las sequías y heladas son más intensas, las temperaturas han incrementado y llueve menos, se presentan heladas más fuertes y antes de tiempo, ya no llueve como antes, hay más riesgos de tornados; estos cambios en el clima afectan el rendimiento de las cosechas

La calidad del suelo ha disminuido y por lo tanto su rendimiento, donde cada vez se requieren más agroquímicos para la producción. Ante esta situación, los entrevistados mencionan como alternativas para mejorar las actividades agrícolas, disminuir la aplicación de agroquímicos, por lo cual requieren capacitación en la elaboración de bioinsumos, rotación y diversidad de cultivos, disminuir el uso de agroquímicos.

Uno de los problemas permanentes en ambas localidades es la basura, ya que el camión que envía el Ayuntamiento de Perote para la recolección sólo pasa una vez por semana, y en ocasiones tarda más de dos o tres semanas, por lo que hay personas que la queman o la tiran en el bosque o en barrancas.

En El Conejo, los principales problemas son: falta de empleo, escasez de agua, erosión de suelo, y otros relacionados con salud. En Los Pescados, se identificó escasez de agua, falta de empleo, uso excesivo de agroquímicos y pérdida de flora y fauna (Figura 3).

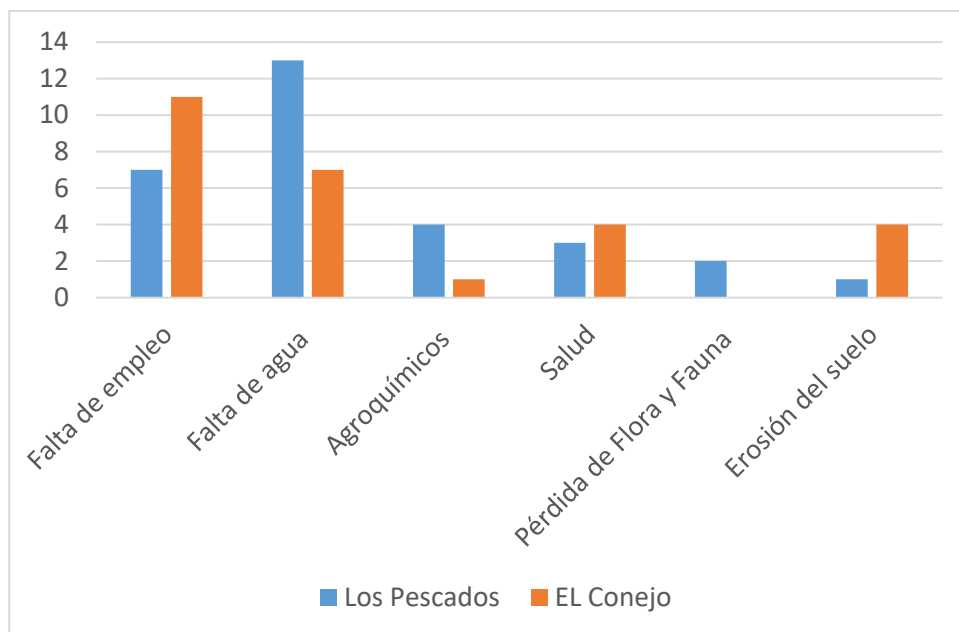


Figura 3. Principales problemas en Los Pescados y El Conejo.

Las actividades agrícolas enfrentan diversos problemas como baja producción por el “desgaste de los suelos” (erosión), y las plagas agrícolas, por lo que los agricultores están aplicando más agroquímicos, tanto en frecuencia como en cantidad, lo que representa un gasto mayor considerable. Además, las “alteraciones en las condiciones climáticas” que se han presentado en los últimos años como las sequías, que cada vez son más frecuentes están afectando la actividad agrícola. Ante esto consideran que es necesario mejorar las prácticas agrícolas, y de conservación de suelos, disminuir uso de agroquímicos e implementar abonos orgánicos, realizar capacitación en técnicas agropecuarias, diversificar cultivos, y buscar otras alternativas agropecuarias y también empleos.

Acerca de la situación de algunos recursos naturales, ambas comunidades presentan problemas similares. Respecto a los ríos y arroyos, en la época de secas la situación es crítica pues frecuentemente están sin agua; incluso algunos pobladores consideran el agua está contaminada; para otros la calidad del agua es buena, mencionan que la contaminación no es significativa, aunque señalan que los caudales y volúmenes han disminuido (Figura 4).

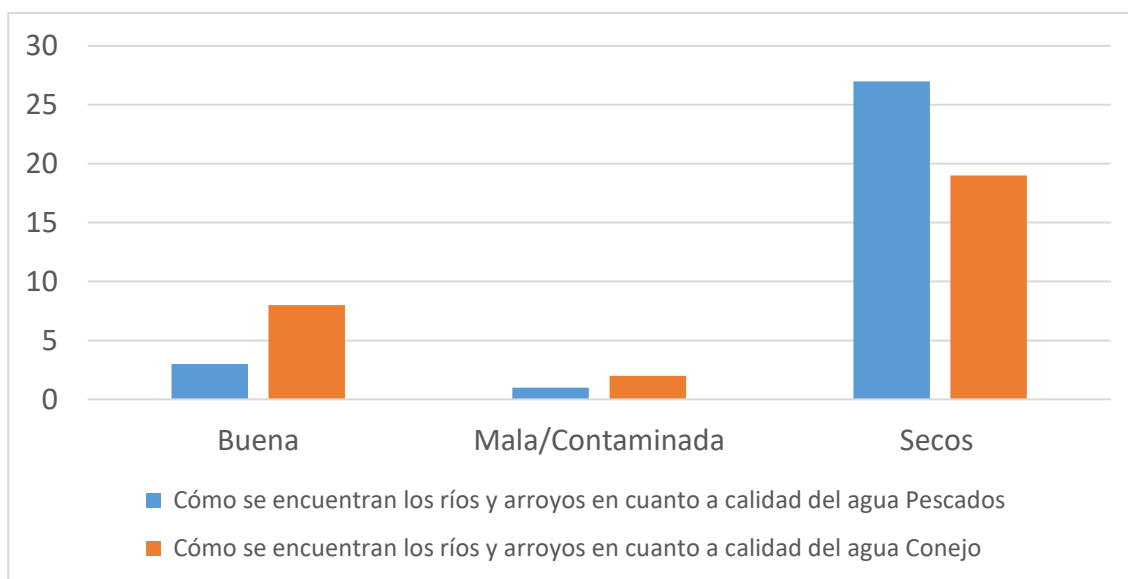


Figura 4. Situación de ríos y arroyos de las localidades Agua de Los Pescados y El Conejo.

Para conservar ríos y arroyos señalan que debe reforestarse, evitar su contaminación, hacer uso eficiente del agua y no desperdiciarla, capacitar a la población sobre la importancia y el cuidado del agua. Las actividades que consideran necesarias en El Conejo son: limpieza de acuíferos, reforestación, ahorro de agua, establecer presas y evitar la tala. En Los Pescados mencionan que se requieren talleres sobre cuidado del agua y actividades de reforestación, así como establecer medidas para el ahorro del agua (Figura 5).

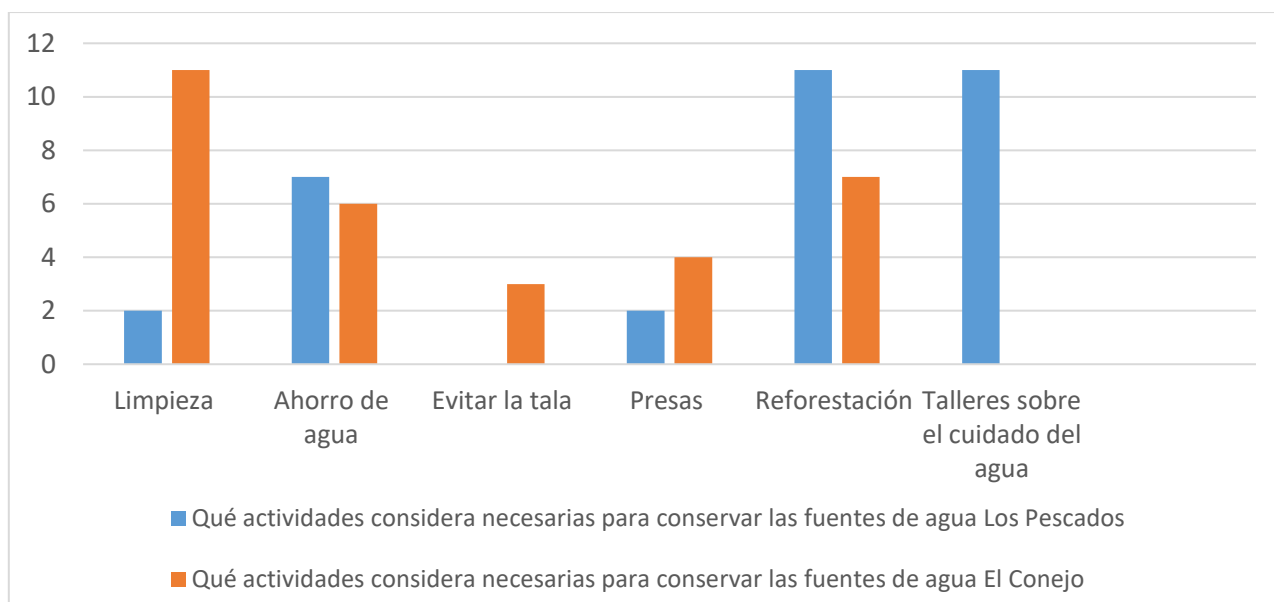


Figura 5. Actividades necesarias para conservar las fuentes de agua.

Respecto a la situación en la que se encuentran los bosques de ambas comunidades, la mayoría considera que la superficie ha disminuido, un porcentaje menor considera que se han mantenido y algunos otros que se han incrementado (Figura 6). En las actividades para su conservación participan todos los habitantes, principalmente los ejidatarios varones; estas se llevan a cabo dos o tres veces al año, en algunos casos reciben apoyos económicos del gobierno como pago por servicios ambientales.

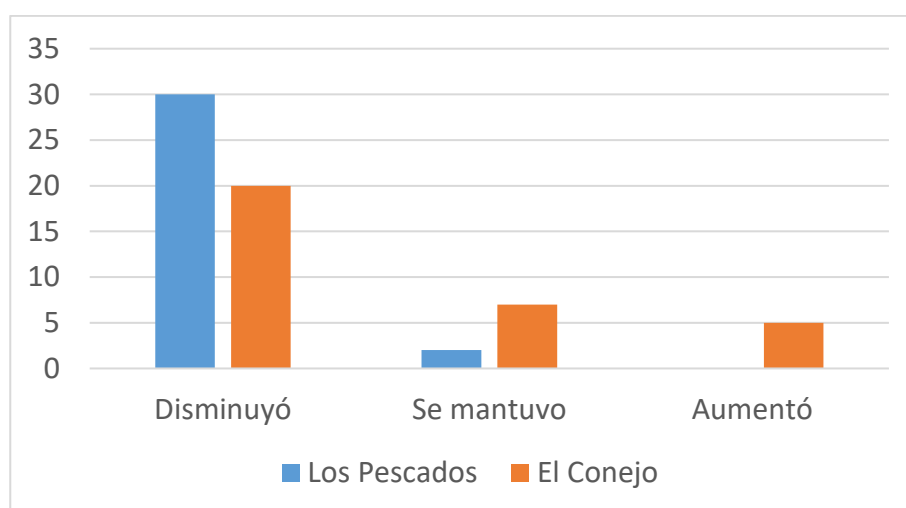


Figura 6. Situación de los bosques en Los Pescados y El Conejo.

Estas actividades se llevan a cabo antes de la época de secas, que representa riesgo de incendios forestales; también se realizan cuando reciben el apoyo de pago por servicios ambientales, o cuando se requiere por alguna contingencia como incendio forestal. Dentro de estas actividades la principal es la reforestación, seguida de podas forestales, acciones de vigilancia forestal, educación ambiental y faenas para el mantenimiento. En Los Pescados destacan la realización de brechas cortafuegos; no obstante, algunas personas consideran que no se realizan acciones de conservación (Figura 7).

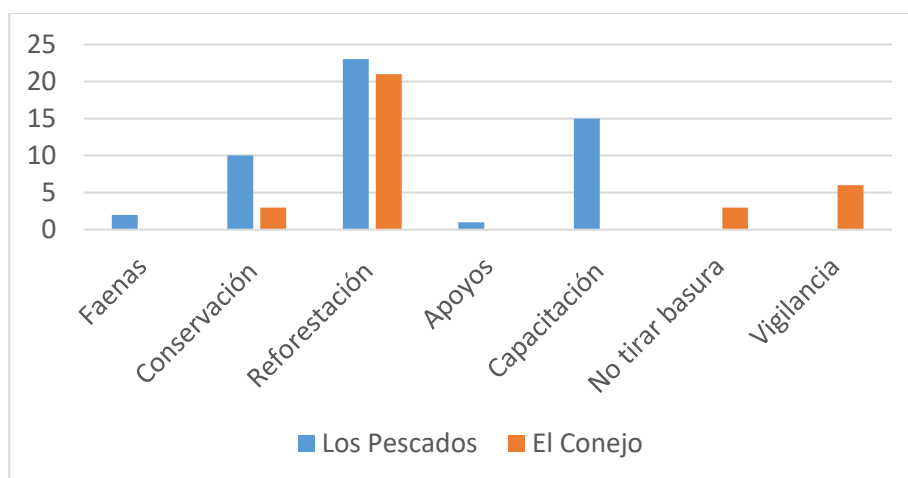


Figura 7. Actividades en Los Pescados y El Conejo para conservar sus bosques.

Sobre la participación en estas actividades en El Conejo señalan que es toda la comunidad, en Los Pescados la mayoría señalan que participan los ejidatarios, y en ambas participan las autoridades (Figura 8).

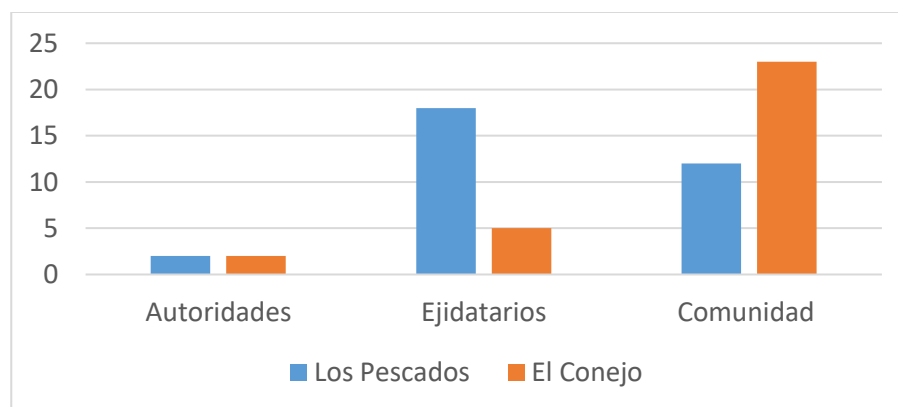


Figura 8. Participación de los pobladores en la conservación de sus bosques.

Para mejorar las condiciones de los bosques, en ambas localidades coinciden en la reforestación, realizar faenas de mantenimiento, actividades de reforestación, brechas cortafuegos, control y combate de plagas y de enfermedades forestales, fortalecer la vigilancia forestal, capacitación para el manejo del bosque y contar con un plan de manejo forestal. En Los Pescados señalan que es necesaria la capacitación, así como actividades de conservación que requieren apoyos. En El Conejo señalan que se requiere mayor vigilancia y no tirar basura. En cuanto a la fauna silvestre, señalan que se requieren actividades para su conservación pues algunas especies han disminuido.

Aplicación de talleres para atender algunas problemáticas

Una vez integrado el diagnóstico socio ambiental, se diseñaron talleres y se elaboraron materiales educativos para contribuir a atender algunas de las necesidades externadas por los pobladores de estas comunidades.

Se impartieron talleres de capacitación para instalar “microtúneles” (pequeños invernaderos cerca de la casa) con el objetivo de producir hortalizas, plantas aromáticas y medicinales, para autoconsumo. En estos espacios protegidos se impulsó la participación de las mujeres en su instalación y manejo. También se impartieron talleres de capacitación para elaborar biopreparados con el objetivo de ofrecer alternativas de aportar nutrientes a los cultivos a través de abonos orgánicos de preparación sencilla, para la mejora de las prácticas agrícolas, así como del rendimiento de las cosechas y mantener las propiedades del suelo; también para prevención y control de plagas y enfermedades. Al impartir estos talleres, se ha contribuido en el acceso a alimentos sanos durante todo el año, aportando con ello en las metas de los ODS 2. Hambre cero y 12. Producción y consumo responsable.

La producción de alimentos sanos en estos espacios protegidos de las heladas y de la sequía fortalece la seguridad alimentaria de los pobladores. Las mujeres principalmente recibieron con agrado e interés estas capacitaciones ya que son ellas las que tradicionalmente son las responsables de la alimentación de la familia (Figura 9), por lo que manifiestan que sienten menos inseguridad alimentaria al tener estos espacios productivos.



Figura 9. *Vista interior de los microtúneles en El Conejo y Los Pescados con la participación de las mujeres para la producción de alimentos sanos.*

Formación de estudiantes

Las actividades realizadas apoyaron la formación integral de estudiantes de la Licenciatura en Biología al incorporarlos como prestadores de servicio social y tesistas, así se realizaron las tesis: “Estrategias de capacitación social en la elaboración de biopreparados para el cuidado del suelo, en el Parque Nacional Cofre de Perote”, “Producción de hortalizas en microtúneles para fortalecer la seguridad alimentaria en Los Pescados y El Conejo en Perote, Veracruz”, “Estrategia de divulgación sobre el Parque Nacional Cofre de Perote: aplicación en dos telesecundarias”. Estas acciones impulsan la educación para el desarrollo sostenible al contribuir en la atención de algunas de las necesidades de las comunidades rurales.

Para difundir información sobre la importancia del bosque, agua, suelo del Cofre de Perote se elaboraron historietas e infografías, así como el libro de divulgación “¿Qué hay en el Cofre? Un bosque. Una mirada al suelo, agua, bosque del Cofre de Perote”, destacando con ello la necesidad de contribuir en la conservación de este ecosistema de montaña. Esta estrategia de difusión con infografías y otros materiales didácticos han sido utilizadas con éxito desde el Huerto Agroecológico de la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana (Fontalvo-Buelvas et al., 2023). Este tipo de medios gráficos son muy valiosos para comunicar con un lenguaje sencillo temas ambientales de relevancia comunitaria, al tiempo que se cumple con la responsabilidad social de divulgación de la ciencia.

Conclusión

Las actividades de vinculación realizadas en el marco del proyecto “Fortalecimiento de capacidades ante condiciones de vulnerabilidad socio ambiental y cambio climático en Agua de los Pescados y El Conejo, Perote, Veracruz” han aportado en algunas metas de los ODS: 2. Hambre cero, 4. Educación de calidad, 5. Igualdad de género, 12. Producción y consumo responsable, 13. Acción por el clima, y 15. Vida de ecosistemas terrestres.

Asimismo, se ha respondido a algunas de las necesidades de las comunidades a través de talleres de capacitación para mostrar algunas opciones para mejorar las actividades agrícolas como la elaboración de biopreparados en sustitución de agroquímicos y la instalación de microtúneles para mejorar las condiciones de producción de los cultivos en pequeña escala.

Referencias

- Cabeza, N. y J. Jaula. (2022). Diagnóstico inicial. Estrategia de educación ambiental en la comunidad "Alvarito Díaz", Consolación del Sur, Cuba. *Ecovida: Revista Científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 12(2), 152-159. <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/252/524>
- Chamorro, M., Narave, H., de la Cruz E. Y., & Hernández, B. (2024a). Contribución de la vinculación Universitaria al Fortalecimiento de Capacidades. *Academia Journals*, 16(10).
- Chamorro, M., de la Cruz, E. Y., Hernández, B., Narave, H., & Domínguez, N. (2024b). *¿Qué hay en el Cofre? Un bosque. Una mirada al suelo, agua, bosque del Cofre de Perote*. Universidad Veracruzana. Azul de Samarcanda Ediciones.
- Domínguez, V. (2024). Estrategias de capacitación social en la elaboración de biopreparados para el cuidado del suelo, en el Parque Nacional Cofre de Perote. [Tesis]. Universidad Veracruzana.
- Fontalvo-Buelvas, J. C., de la Cruz, Y., & Ramírez-Solano, M. A. (2023). Uso de infografías para socializar y promover mediante Facebook el consumo de frutas y verduras en Xalapa, Veracruz. In Castro Martínez, O. R., Velázquez Cigarroa, E., & Fontalvo-Buelvas, J. C. (Coords.). *Agricultura, huertos educativos y transformaciones socioecológicas*:

- Experiencias significativas en México* (pp. 179-197). Azul de Samarcanda Ediciones.
<https://bit.ly/3N5gNAd>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2020). México en cifras. Gobierno de México. <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen>
- Lacruhy, C. (2024). Agenda 2030 en el contexto de la educación superior y su incidencia en la contribución de la creación de valor compartido. *Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 14(28), e638.
<https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1853>
- Narave, H., & Chamorro, M. (2013). *Vamos a conocer el Parque Nacional Cofre de Perote*. Universidad Veracruzana.
- Narave, H., Vázquez, J, Garibay, L., & Chamorro, M. (2016). Aspectos socioambientales del Parque Nacional Cofre de Perote desde la perspectiva de sus habitantes. En: Narave, H., Garibay, L., Chamorro, M., Álvarez, L., & de la Cruz, Y. (Coords.). *El Cofre de Perote, situación, perspectiva e importancia*. Códice Taller Editorial.
- Nava, C. (2024). Producción de hortalizas en microtúneles para fortalecer la seguridad alimentaria en Los Pescados y El Conejo en Perote, Ver [Tesis]. México: Universidad Veracruzana.
- Pérez-Salazar, B. (2018). Desarrollo de capacidades locales para la conservación de los recursos naturales en el Ejido Agua de los Pescados, Perote, Ver. [Tesis de maestría]. México: Universidad Veracruzana. <http://cdigital.uv.mx/handle/1944/50096>
- Tepetla, C. (2024). Estrategia de divulgación sobre el Parque Nacional Cofre de Perote: aplicación en dos telesecundarias [Tesis]. México: Universidad Veracruzana.
- Solares Rojas, V. E., Muench Spitzer, C., Pasquier Merino, A. G., Ríos Muñoz, C. A., Magaña Rodríguez, D., González Villarreal, R., Lara Barragán, V., & de Garay Montoya, C. (2021). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible desde la UNAM*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/sdi.9786073052726e.2021>
- Zuñiga, O. (2021). El reto de las universidades públicas de México para incorporar una educación pertinente acorde con la sustentabilidad. *Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 12(22), e234. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.952>

Alternativa de alimentación en la ganadería sostenible de pequeños productores

Fernando Naranjo Chacón¹, Guadalupe Espejo Beristaín¹

¹Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa, Universidad Veracruzana

Resumen

La producción y disponibilidad de forrajes se ha convertido en una de las principales limitantes para el sustento de los animales, debido al bajo rendimiento y la baja calidad nutricional de estos, obligando a los productores a buscar alternativas que les permitan mejorar la oferta alimenticia para sus animales. La técnica de producción de forraje verde hidropónico, que puede aplicarse a diferentes especies forrajeras, representa una alternativa sostenible para la alimentación de los animales y una opción viable para los pequeños productores en la región. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción y los valores bromatológicos del forraje verde hidropónico de maíz como una alternativa de alimentación en la ganadería sostenible de pequeños productores. Para la producción de forraje verde hidropónico se utilizaron dos tipos de maíz: criollo e híbrido, realizando el siguiente procedimiento: 1) prueba de viabilidad, 2) selección de la semilla, 3) lavado de la semilla, 4) remojado, 5) aireación, 6) rehidratación, 7) siembra y 8) cosecha (12 días después de la siembra). El día de la cosecha, la producción de cada charola fue pesada y las plantas fueron medidas para registrar los datos correspondientes. El análisis bromatológico se realizó mediante la toma de una muestra de 300 gr del forraje seleccionada al azar, la cual fue enviada al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) La Posta, en Paso del Toro, Veracruz, para su procesamiento. La viabilidad de ambas semillas se determinó mediante una regla de tres simple, y se llevó a cabo un análisis estadístico ANOVA para las variables de peso y altura, así como una prueba de Tukey HSD para evaluar las diferencias de las medias. Los resultados mostraron una mayor viabilidad en el maíz criollo (95%) en comparación con el maíz híbrido (75%). Además, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los dos tipos de maíz en cuanto al peso y la altura del forraje. En los análisis bromatológicos, el maíz criollo presentó algunos valores ligeramente superiores, lo cual podría atribuirse a que sus semillas, de mayor tamaño que las híbridas, proporcionan una mayor disponibilidad de nutrientes durante el desarrollo y resultaron en una ventaja bromatológica ligeramente superior frente al maíz híbrido. El forraje verde hidropónico de maíz es una alternativa sostenible para la alimentación de animales que tienen pequeños productores.

Palabras clave: Bromatología, maíz criollo, nutrición, pecuario, rumiantes.

Introducción

A medida que la población humana crece, la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua para la humanidad se han vuelto una prioridad para poder lograr la sostenibilidad de los países que dependen en gran medida de los productos básicos (agrícolas y pecuarios). Se prevé que para el 2050 la demanda y producción de alimentos se duplique a nivel mundial, por lo que, para la producción pecuaria, es importante considerar alternativas que garanticen una alimentación de calidad para los diferentes tipos de sistemas de producción pecuaria en el mundo (Bouadila et al., 2022).

La producción pecuaria en todo el mundo se enfrenta a diferentes desafíos, pero el de mayor relevancia para los productores es la variación climática, causada por la degradación general del medio ambiente, inadecuado uso de los recursos naturales en las diferentes actividades de producción (agrícolas y ganaderas). De forma directa o indirecta, se atribuye al ser humano el cambio climático (Argüello-Rangel et al., 2019; Osorio-Giraldo et al., 2024), lo cual afecta el confort de los seres vivos, entre ellos los animales, así como la disponibilidad de forrajes en su entorno, la nutrición y la baja productividad.

La producción y disponibilidad de forraje en las diferentes áreas ganaderas se han convertido en una de las principales limitantes para la alimentación de los animales, debido a su bajo rendimiento y pobre calidad nutricional, obligando a los productores a conseguir piensos con un costo elevado, con ingredientes que afectan la reproducción de sus animales, lo cual pone en riesgo su sostenibilidad (Rhoads et al., 2006). Por ello, actualmente el productor busca alternativas que le permitan mejorar la oferta alimenticia para sus animales a un bajo costo y sin afectar la producción. Una alternativa viable es el Forraje Verde Hidropónico (FVH), que es una tecnología de producción de biomasa vegetal basada en el crecimiento de las plantas en el estado de germinación y crecimiento temprano de la plántula a partir de las semillas viables, bajo condiciones ambientales óptimas de luz, temperatura y humedad, y en ausencia del suelo (Trevizan y Challapa, 2020).

Para la producción de FVH generalmente se utilizan semillas de cereales, debido a la alta digestibilidad y valor nutritivo para la alimentación del ganado. A nivel mundial, se ha demostrado que la producción de FVH es altamente eficiente, tanto en el aspecto productivo como en el

socioambiental, contribuyendo al ahorro de agua, al acortamiento del tiempo de producción (12 a 15 días), y a la mejora en la calidad forrajera y el valor nutritivo. El FVH que más se utiliza con fines forrajeros ha sido el maíz (*Zea mays* L.), por su elevado valor nutritivo, alto rendimiento y asequible, convirtiéndose en un alimento viable para los diferentes sistemas de producción pecuaria que buscan alternativas para suplementar la dieta de sus animales y mejorar sus condiciones alimenticias (Vargas-Rodríguez, 2008).

Para México, el maíz es un cultivo importante tanto como parte de la dieta de los mexicanos como en la actividad económica y en el uso ganadero. En la zona capital del estado de Veracruz, el cultivo del maíz nativo o criollo está estrechamente asociado a la cultura ancestral, favorecido por condiciones climatológicas que permiten su siembra y la preservación de su material genético (Osorio-Antonia et al., 2022). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar la producción y los valores bromatológicos del forraje verde hidropónico de maíz como alternativa de alimentación en la ganadería sostenible de pequeños productores.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó entre los meses de abril y junio en una unidad de producción agropecuaria que se encuentra ubicada en la calle prolongación Tlanalapan s/n, en las coordenadas 19° 28' 22" N y 96° 58' 25" O, a 1,232 msnm y que pertenece a la localidad y municipio de Coatepec, Veracruz. La unidad cuenta con una superficie de 1.9 hectáreas, dividida para uso agrícola, pecuario y de reserva ecológica (Figura 1). La zona presenta un tipo de clima templado húmedo, con una temperatura media anual de 19.2 °C, vegetación de tipo bosque mesófilo de montaña y una precipitación promedio anual de 1926 mm (García, 2004).

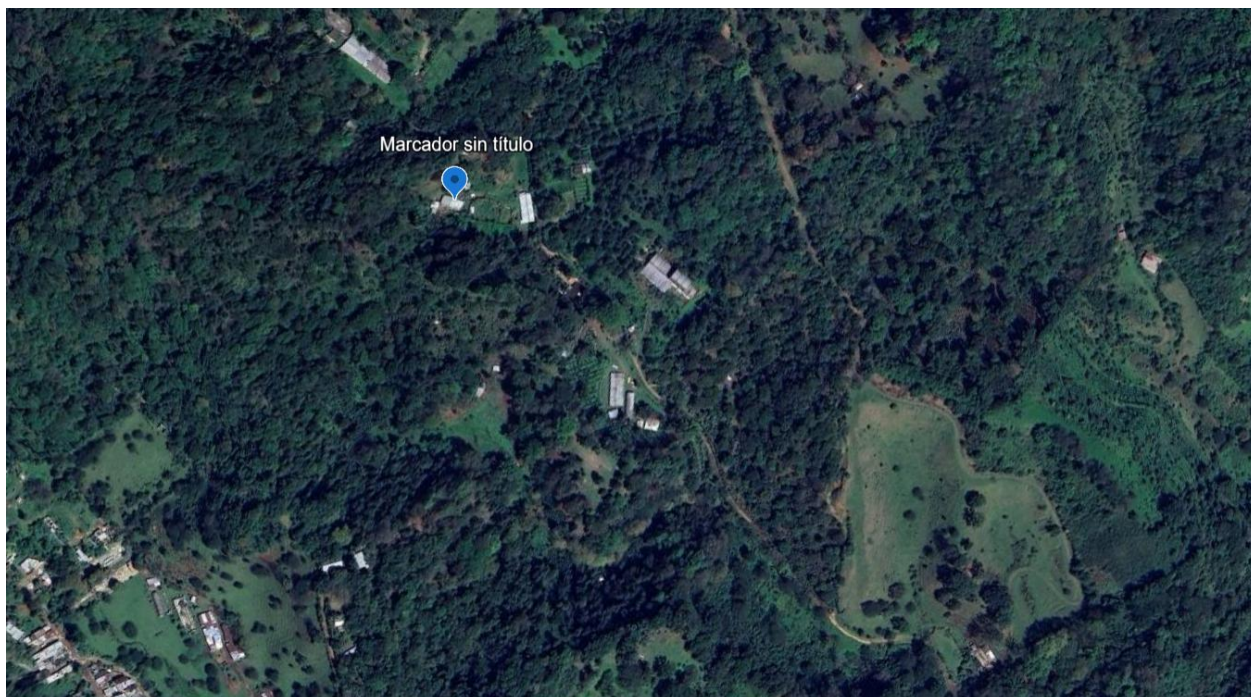


Figura 1. *Ubicación de la unidad de producción agropecuaria.*

Para la producción de FVH se seleccionaron dos tipos de maíz: 1) criollo y 2) híbrido, ambos producidos en la región de Coatepec sin presentar problemas de cruzamiento entre variedades. Además, se utilizó una infraestructura similar a un invernadero con las siguientes medidas: 4 m de largo, 3 m de ancho y 2.5 m de alto. La infraestructura estaba cubierta en su totalidad con plástico de invernadero, y en el techo se colocó una malla sobre el 70% (para reducir la entrada de luz). Todo esto tenía como propósito garantizar y mantener una temperatura de 31 °C y una humedad entre el 55 y 85 %. Adicionalmente, en el interior se colocó una malla galvanizada que cubría todos los lados para evitar la entrada de roedores, además de una puerta y una ventana retráctiles para permitir la ventilación (Figura 2).



Figura 2. *Infraestructura para la producción del FVH.*

Antes de iniciar el proceso para la producción del FVH, se realizó una prueba de viabilidad mediante el método de germinación estándar “entre papel” con los dos tipos de maíz, con el siguiente procedimiento: se seleccionaron al azar 500 semillas de cada tipo de maíz, colocándolas en hileras (100 semillas por hilera) sobre papel de estraza húmedo, a intervalos definidos, y se cubrieron con otro papel húmedo. Posteriormente, se colocaron en charolas, que fueron tapadas con plástico negro y ubicadas en los racks para FVH, recibiendo riego diario y evaluándose su germinación siete días después de la siembra.

Después de evaluar la viabilidad de las semillas de ambos maíces, se realizó el siguiente procedimiento para la producción del FVH:

- 1) Selección de semillas: Se seleccionaron manualmente, descartando aquellas en mal estado (rotas, picadas, podridas, etc.) así como las impurezas (como olotes, piedras, hojas, etc.). Posteriormente, fueron pesadas 6.4 kg de cada tipo de maíz (criollo e híbrido) en una báscula digital.
- 2) Prelavado: Las semillas se lavaron primero con agua limpia para eliminar impurezas y semillas flotantes. Luego, fueron sumergidas en una solución de agua y cloro (10 % de concentración) durante un lapso no mayor a 10 minutos, seguido de dos lavados con solo agua limpia para eliminar el exceso de cloro. Este procedimiento se realizó para desinfectar las semillas y evitar contaminaciones durante el proceso de germinación.

3) Hidratación: Después de los lavados, las semillas se dejaron en remojo en agua limpia durante 24 horas para activar el embrión de la semilla.

4) Oxigenación: Tras la hidratación, las semillas se colocaron en un escurridor durante una hora para permitir su oxigenación.

5) Rehidratación y lavado: Inmediatamente después de la oxigenación, las semillas se rehidrataron con una solución de agua y cal-hidra (50 g de cal por litro de agua) por un lapso no mayor a 30 minutos, seguida de dos lavados con agua limpia para eliminar los restos de cal.

6) Siembra: Después de la rehidratación, la siembra fue realizada en charolas de plástico rígido de 125 cm², donde se distribuyeron uniformemente 800 g de semillas en cada charola. Se utilizaron ocho charolas por tipo de maíz diariamente, las cuales fueron cubiertas con plástico negro y colocadas en racks metálicos con capacidad para 100 charolas cada uno (tres racks en total para la producción de FVH).

7) Riego: Durante los primeros cinco días, el riego se realizó cada 2 horas en cada charola, al utilizar 200 ml de agua limpia por riego y aplicando con un aspersor individual de un litro. A partir del día seis, fue retirado el plástico de las charolas y la cantidad de agua se incrementó a 300 ml por riego, manteniendo el mismo ritmo de riego cada 2 horas por charola.

8) Cosecha: La cosecha se realizó el día 12 después de la siembra.

9) Peso y medición: Fue retirado el FVH de las charolas, al medir la altura de las plantas en general, desde la raíz, utilizando un flexómetro y posteriormente registrar la información obtenida en la base de datos. Se pesó la producción de FVH de cada charola (de ambos tipos de maíz) en una báscula digital, para registrar los datos. Tras la medición y pesaje, el FVH fue ofrecido a los animales de la unidad de producción.

Para el análisis bromatológico, se siguieron las recomendaciones del laboratorio de nutrición animal y forrajes del Centro de Investigación Regional Golfo-Centro Campo Experimental “La Posta” del INIFAP en Paso del Toro, Veracruz. Se tomó al azar una muestra de 300 g de FVH de cada tipo de maíz, la cual fue almacenada en bolsas de papel etiquetadas y enviada al laboratorio para su análisis químico bromatológico.

El análisis estadístico para esta investigación fue el siguiente: en cuanto a la viabilidad de la semilla, se contabilizaron todas las semillas germinadas al día siete, para luego realizar una regla de tres simple y obtener el porcentaje de viabilidad. Para los datos de altura de la planta y peso del FVH, fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y las diferencias significativas se determinaron mediante una prueba post-hoc de Tukey HSD, utilizando el paquete estadístico Statistica versión 8.0.

Resultados y discusión

La viabilidad de las semillas expresa la calidad genética y potencial para su germinación. En esta investigación se encontró que la viabilidad de la semilla de maíz criollo fue del 95%, resultados similares a los reportados por otros autores, quienes encontraron más del 93% de germinación en semilla de maíz ortodoxa (Rangel-Fajardo et al., 2014). En la región del Grijalva, con 35 variedades de maíces criollos, se observó una viabilidad superior al 80%, en el 71% de los maíces estudiados (Guillen-de la Cruz et al., 2018). Además, en maíz criollo blanco y negro se han reportado valores de 94.5 % y 99%, respectivamente (Manuel-Rosas et al., 2007). En el caso de las variedades Punta Cuata, Olotillo, Toro y Criollo Morado, se alcanzaron más de 98% de germinación (Escobar-Álvarez et al., 2021), porcentajes similares o superiores a los obtenidos en este estudio con maíz criollo. Sin embargo, para el maíz híbrido, el porcentaje de germinación fue del 75%, muy por debajo de lo reportado para los maíces criollos.

Según Martínez (2005), la semilla que se utilizará para el FVH debe tener como mínimo el 75% de germinación para que el rendimiento no se vea afectado, porcentaje que se alcanzó con el maíz híbrido. Este resultado podría deberse a que las semillas eran pequeñas; de acuerdo con Valle et al. (2017), la selección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica es fundamental para el éxito del FVH. En muchas especies, se ha observado que las semillas de mayor tamaño presentan una mayor germinación, alcanzando el doble de germinación en comparación con las semillas pequeñas (Huerta y Rodríguez, 2011). Además, se ha señalado que existen diversos factores que pueden disminuir el porcentaje de germinación, tales como: la fisiología, la herencia, el origen de la semilla, las condiciones de crecimiento, las condiciones pos-maduración, la pre-cosecha, la cosecha y las condiciones de almacenamiento (Besnier, 1989; Mora-Mata et al., 2013).

La germinación de las semillas depende en gran medida de los recursos nutricionales con los que cuentan y de la biodisponibilidad de estos. Para que el grano de maíz logre germinar, requiere de una activación por parte del agua absorbida, así como de un alto contenido de proteínas y carbohidratos, los cuales son aportados por la misma semilla. Estos recursos dependen del tamaño del grano y de la calidad de sus componentes (Escobar-Álvarez et al., 2021). Por lo tanto, el tamaño del grano de maíz híbrido, que era más pequeño en comparación con el maíz criollo, pudo haber influido en su bajo porcentaje de germinación.

En cuanto al peso en Kg/m², refleja que por cada kilogramo de semilla de maíz criollo se obtuvieron 3.7 kg de FVH, a diferencia del maíz híbrido donde el resultado fue de 2.27 kg de FVH por cada kilogramo de semilla. En relación con la altura, se observó que el maíz criollo presentó un mejor desarrollo, alcanzando una altura 3 cm mayor que el maíz híbrido (figura 3). En ambos casos, tanto en la altura como el peso del FVH, manifestaron diferencias significativas entre el maíz criollo y el híbrido ($P < 0.05$, tabla 1). Estos resultados pueden estar relacionados con la calidad de la semilla, al depender del contenido nutricional para su germinación y crecimiento (Escobar-Álvarez et al., 2021).



Figura 3. Producción de forraje verde hidropónico.

Tabla 1. Media $\pm$ EE (error estándar) del peso y altura del FVH obtenido según el tipo de semilla

Tipo de Maíz	Viabilidad %	Peso en Kg/m ²	Altura en cm
Criollo	95%	23.73 $\pm$ 0.34 ^a	25.21 $\pm$ 0.46 ^a
Híbrido	75%	14.53 $\pm$ 0.34 ^b	22 $\pm$ 0.46 ^b

Nota: ^{a,b} diferentes superíndices por filas indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

En esta investigación se utilizaron ocho charolas (representando 1 m²) para establecer el FVH, empleando 6.4 kg de maíz (por cada tipo), teniendo una media de producción de FVH de 23.7 kg/m² con maíz criollo y de 14.5 kg/m² con maíz híbrido. Estos resultados son similares con lo reportado por Camero-Rey et al. (2008), quienes emplearon maíz criollo con la misma densidad de siembra (6.3 kg/m²), obteniendo 21.8 kg/m², los cuales son superiores a los obtenidos con el maíz híbrido. Sin embargo, nuestros resultados superan los reportados por Albert et al. (2016), quienes obtuvieron rendimientos de 3.91 kg/m² y 4.64 kg/m², así como los de Ramírez y Soto (2017), que alcanzaron una producción de 15.20 a 15.37 kg/m² de FVH al utilizar diferentes concentraciones de soluciones nutritivas. Estas diferencias pueden estar asociadas a factores en el aspecto productivo, metodológico, genotípico, densidad de siembra, días a la cosecha, condiciones climáticas, manejo de riego y nutrición, que generan una alta variabilidad en los resultados (Albert et al., 2016; Ramírez y Soto, 2017). Además, se sabe que cuando el porcentaje de germinación es menor, también lo es el rendimiento total de FVH, como lo refleja el FVH producido con maíz híbrido.

La altura de las plantas representa un parámetro importante para los diseños de los racks para el FVH, pues determina la separación entre niveles. De acuerdo con los resultados de este estudio, el maíz criollo alcanzó mayores valores de altura. Estos resultados concuerdan con los reportados por Zagal-Tranquilino et al. (2016), quienes obtuvieron 30.45 $\pm$ 4.5 cm, y son superiores a los reportados por Rodríguez et al. (2012). En su estudio, utilizaron maíz amarillo y agua para el riego, cosechando a los 8, 10, 12 días con alturas de 13.33, 16.60 y 18.66 cm, respectivamente. Otros autores han reportado alturas de 19.5 a 30 cm para el FVH de maíz a los 11 o 12 días de cosecha (Ramírez & Soto, 2017; Rivera et al., 2010). La producción de FVH en condiciones

controladas de temperatura, humedad relativa, densidad y calidad de semilla permite alcanzar buenos rendimientos en peso y alturas superiores a los 20 cm. Por ello, es importante considerar la altura del FVH, esto porque depende de las necesidades del productor: una mayor altura implica más biomasa verde disponible, lo que puede cubrir los requerimientos nutricionales de los animales en unidades de producción agropecuarias (Herrera & Guerrero, 2022). Por ejemplo, para suplementar a una cabra al día se requieren aproximadamente 600 g de FVH; para cerdos y gallinas se ofrece de forma libre, para bovinos se proporciona del 7 al 10% de su peso en FVH, y un conejo adulto necesita entre 300 y 400 g diarios. Estos datos demuestran que la producción de FVH es una buena alternativa de suplementación para animales de pequeños productores.

Es fundamental que, al establecer un sistema de producción de FVH se considere la calidad física, fisiológica, genética y fitosanitaria de la semilla, ya que puede ser una de las principales limitantes en la producción de FVH. Una mala calidad de semilla reduce los rendimientos e incrementa el costo de producción. Además, existen otros factores a considerar para obtener una buena producción de FVH. No obstante, los rendimientos obtenidos en esta investigación son aceptables en comparación con resultados de otros autores, aunque la calidad de la semilla podía haber afectado la producción en el caso del maíz híbrido.

En los resultados del análisis bromatológico del FVH de maíz (tabla 2), se observan varios criterios importantes para determinar la calidad del forraje; uno de ellos es la proteína cruda (PC). El maíz criollo alcanzó un 12.9% de PC, un valor similar a lo reportado en otros estudios donde obtuvieron valores entre 12.26 y 13.52% de PC (Pérez et al., 2012), y Albert et al. (2016) reportaron un 13%. Incluso utilizando diferentes variedades de maíz, se ha obtenido un rango que va de 9.43 a 20.17% de PC (Camero-Rey et al., 2008), en el cual se encuentra el maíz híbrido de este estudio. Es importante mencionar que los valores más altos de PC corresponden a cosechas realizadas entre los 12 y 16 días después de la siembra, mientras que los valores menores corresponden a cosechas a los 8 días. Esto indica que la síntesis de PC es menor en plantas jóvenes que en estados más avanzados, evidenciando que una mayor edad produce mayor concentración de PC en el FVH. Sin embargo, estos valores no suelen incrementarse más allá de los 16 días, ya que las plantas inician un proceso de lignificación, lo que reduce el contenido de PC (Borja y Perlará, 2009). Asimismo, se sabe que el FVH debe tener al menos un 7% de PC para permitir una correcta

fermentación de los carbohidratos estructurales en el rumen, tanto para pequeños como grandes rumiantes (Albert et al., 2016).

Tabla 2. *Análisis químico bromatológico del FVH de maíz criollo e híbrido*

Determinación	Maíz Criollo		Maíz Híbrido	
	Base húmeda %	Base seca %	Base húmeda %	Base seca %
Materia seca (100 °C)	23.33	100	23.33	100
Proteína Cruda (N x 6.25)		12.9		11.24
Fibra (Fibra Detergente Neutro)		26.01		27.9
Materia Mineral (550-600 °C)		2.08		1.76
FDA (Lignocelulosa)		8.95		8.56
Lignina		0.5		0.6

Otro de los criterios importantes es la materia seca (MS), donde se encontró que ambos tipos de maíz tuvieron resultados similares y acordes a datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de Albert et al. (2016), quienes mencionan que los rendimientos esperados de MS deben rondar entre el 20 y 30%. La MS de los forrajes tiene implicaciones importantes desde el punto de vista nutricional y alimenticio, debido a que a mayor contenido de MS, aumenta la densidad de nutrientes (Herrera & Guerrero, 2022; Naranjo & Cuartas, 2011). Además, es importante señalar que una menor cantidad de MS en los FVH puede limitar la aceptación por parte del ganado, incrementando los costos de producción (Salvador-Castillo et al., 2022).

La MS, el envejecimiento y los factores de conservación tienen un impacto en el valor nutricional del maíz; por ello, el objetivo de producir FVH de maíz es lograr un alto rendimiento en MS, que ofrezca una alta calidad nutricional para los rumiantes, con el fin de asegurar una adecuada fermentación y un mejor consumo por los animales (Arana, 2020). Además, el FVH, en sus valores nutricionales, contiene una gran cantidad de hierro, calcio y fósforo; es rico en vitaminas, especialmente A y E, y tiene un bajo contenido de lignina y celulosa, lo cual lo hace fácilmente digerible para los animales de pequeñas unidades de producción (Espinosa, 2019).

En cuanto a la Fibra Detergente Neutro (FDN), esta corresponde al material estructural de las células vegetales y está compuesta por una química compleja que la hace potencialmente digestible para los pequeños y grandes rumiantes, quienes pueden obtener de ella la energía necesaria para realizar sus funciones vitales. Por ello, la dieta de los rumiantes debe contener entre el 25 y el 35% de FDN (Soto et al., 2012), lo que asegura un buen funcionamiento ruminal. Ambos tipos de maíz producidos en FVH cumplen con el contenido de FDN necesario.

La FDN corresponde a la fracción del forraje que contiene celulosa, hemicelulosa, sílice, bajo contenido de proteína y lignina, al igual que la fibra detergente ácida (FDA), que es una porción de la fibra compuesta por celulosa y lignina en la pared celular de las plantas. Se considera que los forrajes con un contenido de FDN menor al 40% y FDA menor al 32% son de buena calidad, mientras que aquellos que superan el 60% pueden presentar problemas de digestión y reducir el consumo de los forrajes (Birgi et al., 2018), lo cual no fue el caso para el FVH en ambos componentes y tipos de maíz. Sin embargo, en diferentes investigaciones se han reportado rangos de FDN de 40.80 a 70.14% en diferentes tipos de maíz y sistemas de producción, así como de FDA entre 10.4 y 43.02% (Cisneros-Saguilán et al., 2023).

Tanto el FDN como la FDA se utilizan con frecuencia en la alimentación de grandes y pequeños rumiantes para calcular la cantidad de forraje que pueden digerir los animales, los nutrientes digeribles y otros valores energéticos. La FDN es un indicador del volumen, lo cual se refleja en la ingesta del pienso para los animales. Además, los análisis bromatológicos son importantes para conocer el porcentaje de FDN, ya que, al aumentar este valor, la ingesta de MS por lo general se reduce. Por otro lado, la FDA es un buen indicador de digestibilidad y, por consiguiente, de la ingesta energética; por ello, los valores de FDA son importantes, ya que se relacionan con la capacidad del animal para digerir el forraje. Al igual que el FDN, si este parámetro aumenta, se reduce la capacidad de digestibilidad del forraje (Arce-Ramírez et al., 2020; Espinoza et al., 2023; Villoslada et al., 2022).

La producción de FVH de maíz tiene como principal característica su rápido desarrollo, haciéndolo apto y eficiente nutricionalmente para ser utilizado en la dieta de los animales (ovinos, caprinos, avícola, bovino, cunícola, porcino, equinos, etc.). Según los datos obtenidos en el presente estudio, el FVH de maíz criollo ofrece buenos resultados en crecimiento y valores

nutricionales, convirtiéndose en una alternativa sostenible en la suplementación de diversos tipos de animales en los diferentes sistemas de producción pecuaria, tanto a pequeña como a gran escala.

Hoy en día, la producción de forrajes se ve limitada por las condiciones agroecológicas que enfrentan todos los sistemas de producción pecuarios, principalmente por la limitada disponibilidad de alimentos durante todo el año, la baja fertilidad de los suelos, la presencia de plagas y enfermedades, la escasez de agua y las sequías extremas causadas por las variaciones climáticas, lo que genera una mayor escasez de alimentos y reduce la productividad de los animales. Por lo tanto, el FVH es una alternativa sostenible para producir mayor cantidad de forraje en menor tiempo y espacio, optimizando el agua y manteniendo o mejorando las condiciones de productividad, sanidad y nutrición de los animales (Campêlo et al., 2007; Paipa et al., 2020).

Conclusiones

El estudio arrojó mejores resultados productivos y bromatológicos en el FVH de maíz criollo, con una mayor altura de planta y un mayor peso en kg/m^2 , así como valores nutricionales superiores respecto al maíz híbrido, lo que lo convierte en una alternativa sostenible para su inclusión en la dieta de diferentes animales de pequeños productores.

Se espera que los pequeños y medianos productores pecuarios obtén por alternativas de alimentación más sostenibles como el FVH de maíz para sus animales, debido a que, la disponibilidad de forrajes será más complicado por las variaciones climáticas, así como el incremento en el precio de los concentrados comerciales

Referencias

- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., & Rosthoj, S. (2016). Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. *J Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6(1), 7-10.
- Arana, B. W. W. (2020). *El maíz forrajero como suplemento alimenticio en el ganado bovino para el incremento de la producción lechera*” BABAHOYO: UTB, 2020].
- Arce-Ramírez, W., Rojas-Bourrillon, A., & Campos-Granados, C. M. (2020). Determinación del contenido energético de materiales forrajeros a través de la relación entre la técnica de

- producción de gas in vitro y la ecuación mecanicista del NRC (2001). *J Nutrición Animal Tropical*, 14(1), 13-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8113237>
- Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2019). Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías de trópico bajo Colombiano. *J Agronomía Mesoamericana*, 899-915. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212019000300899&script=sci_abstract&tlng=es
- Besnier, R. F. (1989). *Semillas: biología y tecnología*. (Madrid, España.)
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., & Utrilla, V. (2018). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *J RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 44(3), 316-323. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/103639>
- Borja, T. C., & Perlará, R. M. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. *J Revista Bioetnia*, 6(2), 127-134. <https://bioetnia.iiap.org.co/index.php/bioetnia/article/view/76>
- Bouadila, S., Baddadi, S., Skouri, S., & Ayed, R. (2022). Assessing heating and cooling needs of hydroponic sheltered system in mediterranean climate: A case study sustainable fodder production. *Energy*, 261, 125274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125274>
- Camero-Rey, A., Muñoz-Gómez, G., & Ramírez-Vargas, C. (2008). *Evaluación biológica y económica del uso de forraje verde hidropónico (fvh) en la producción de leche* [Revisión de literatura, Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/3085>
- Campêlo, J. E. G., Oliveira, J. C. G. d., Rocha, A. d. S., Carvalho, J. F. d., Moura, G. C., Oliveira, M. E., & Uchoa, L. d. M. (2007). Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *J Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 276-281. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/Lg8tdpbKBmXYkQ6ND4NFPDg/>
- Cisneros-Saguilán, P., Cruz-Bautista, P., & Hernández-Hernández, M. (2023). Hydroponic green forage as an alternative forage in animal feeding. *J Tropical Subtropical Agroecosystems*, 26(3). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/4679>

- Escobar-Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Saguilán, P. C., Gutiérrez-Dorado, R., de los Ángeles Maldonado-Peralta, M., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021). Viabilidad y germinación en semillas de maíz criollo del estado de Guerrero. *J Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(II). <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/2963>
- Espinosa, W. (2019). Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico. *J Revista investigaciones agropecuarias*, 1(2), 15-27. https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/493
- Espinoza, Í. F., Barrera, A. E., Sánchez, A. R., Medina, M. L., & García, A. R. (2023). Elaboración de Ensilaje de Maíz Forrajero (*Zea Mays*) y Residuos de Banano Verde (*Musa Paradisiaca*) para Ovinos Tropicales. *J Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 2817-2828. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7921
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guillen-de laCruz, P., Velázquez-Morales, R., de la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., & Osorio-Osorio, R. (2018). Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean journal of agricultural animal sciences*, 34(2), 108-117. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902018000200108
- Herrera, J. P. N., & Guerrero, E. M. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. *J Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 8. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4535>
- Huerta, P. R., & Rodríguez, T. D. A. (2011). Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación *Quercus rugosa* Née. *J Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 179-187. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000200001
- Manuel-Rosas, I., Gil-Muñoz, A., Ramírez-Valverde, B., Hernández-Salgado, J. H., & Bellon, M. (2007). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y

- con métodos tradicionales en Oaxaca, México. *J Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 69-69.
<https://www.redalyc.org/pdf/610/61030109.pdf>
- Martínez, L. Á. L. (2005). *Producción de forraje verde hidropónico*. Centro De Investigación en Química Aplicada.
- Mora-Mata, E., Torres-Tapia, M. A., Zamora-Villa, V. M., Espinoza-Velasquez, J., & Facio-Parra, F. (2013). Capacidad de germinación de semillas y vigor de plántulas en familias de maíz poliembriónico y de alto contenido de aceite. *Agraria*, 10(1), 19-26.
- Naranjo, J. F., & Cuartas, C. A. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *J CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(1), 9-19. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1489/993>
- Osorio-Antonia, J., Bada-Carbajal, L. M., & Lámbarry-Vilchis, F. (2022). Agro productividad del maíz nativo en la zona indígena de Chicontepec, Veracruz, México. *Revista De Geografía Agrícola*, (68), 97–111. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2021.68.06>
- Osorio-Giraldo, J. F., Calderón-Bedoya, V., López-de-Mesa, O., & Restrepo-Berrio, D. (2024). Importancia de la disponibilidad de alternativas forrajeras para la alimentación de ganado bovino. *J Revista Politécnica*, 20(39), 18-30.
<https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/2139>
- Paipa, L., Bernal, L., Conde, A., Quijano, N., & Bula, K. (2020). El forraje verde hidropónico: una alternativa sostenible en tiempos de cambio climático. *J Ámbito Investigativo*, 5(2), 60-71.
<https://revistas.lasalle.edu.co/files-articles/ai/vol5/iss2/8/fulltext.pdf>
- Pérez, L. S., Rivera, J. R. E., Rangel, P. P., Reyna, V. d. P. Á., Velázquez, J. A. M., Martínez, J. R. V., & Ortiz, M. M. (2012). Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *J Interciencia*, 37(3), 215-220.
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33922725009.pdf>
- Ramírez, V. C., & Soto, B. F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *J Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91.
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242017000200079

- Rangel-Fajardo, M. A., Córdova-Téllez, L., & Cárdenas-Soriano, E. (2014). Pérdida de tolerancia a la desecación durante la imbibición-germinación en semillas de maíz. *J Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(5), 833-845. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/905>
- Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., Gilbert, R. O., Toole, R., & Butler, W. R. (2006). Detrimental effects of high plasma urea nitrogen levels on viability of embryos from lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 91(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.02.009>
- Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, D., Perdomo, D., García, D. E., & Hernández, G. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. *J Zootecnia Tropical*, 28(1), 33-41. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692010000100005
- Rodríguez, H. J. M., Danés, A. A. G., López, P. J., Olguin, J. L. L., & de Coss, A. L. (2012). Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea maíz* L.) con diferente concentración de solución nutritiva. *J Abanico veterinario*, 2(3), 20-28. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=44969>
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Cedillo-Aviles, A. K., Vázquez-Chena, Y., Varela-de Gante, S. A., & Meza-Discua, J. L. (2022). Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* y *Hordeum vulgare*. *J Terra Latinoamericana*, 40. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792022000100107
- Soto, M. A. C., Reyes, A. S. J., Ahumada, J. A. R., Cervantes, M. G., Lozano, R. G. R., & Barragán, H. B. (2012). Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *J Interciencia*, 37(12), 906-913. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33925592007.pdf>
- Trevizan, R. J. F., & Challapa, M. G. A. (2020). Comparación del rendimiento de forraje verde hidropónico con maíz lluteño y maíz comercial, utilizando cuatro calidades de agua. *J Idesia*

- (Arica), 38, 113-122. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292020000300113&nrm=iso
- Valle, M. R., Covarrubias, P. J., Ramírez, P. J. G., Aguirre, M. C. L., Iturriaga, d. l. F. G., & Raya, P. J. C. (2017). Efecto del osmoacondicionamiento sobre la germinación del maíz tipo palomero. *J Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 307-319. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000200307
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *J Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 233-240. https://www.mag.go.cr/rev_meso/v19n02_233.pdf
- Villoslada, A. G., Núñez, Y. A., Campos, H. T., Pacheco, R. C., & Biktuk, J. A. (2022). Subproductos del cacao (*Theobroma cacao*) como alternativa para la mejora de la dieta balanceada en rumiantes. *J Revista Científica Dékamu Agropec*, 3(1), 42-57. <https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/72>
- Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., & Carrillo-Díaz, F. (2016). Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *J Abanico veterinario*, 6(1), 29-34. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322016000100029

**Lilia Ortiz Rodríguez¹, Jessica León López¹, Lucía Ortiz Rodríguez¹,
Mario Francisco Hernández Flores², Nora Isela Ruiz Colorado¹**

Página 86

Resumen

La región de Perote, Veracruz se caracteriza por su desarrollo y aprovechamiento forestal, la producción agrícola de riego o temporal, representan una derrama importante económica y de autoconsumo, aunado a esto el ganado caprino y ovino son prácticas culturales arraigadas. Las actividades productoras de desechos representan un reto para la generación de tecnología y aminorar esta problemática permite el aprovechamiento de los agroresiduos. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un prototipo anaerobio de mezclado de fermentaciones semisólidas, de capacidad de 60 l, que funcionará para el proceso de obtención de un biofertilizante. Para ello se definió el diseño de un fermentador anaerobio mediante la generación de los cálculos para establecer el dimensionamiento del tanque, y las partes que lo conforman, se realizó el modelado en 3D tomando en cuenta el dimensionamiento de las partes en planos computarizados. El equipo de fermentación que se construyó es acero inoxidable 304, de doble camisa para ejercer una transferencia de calor por convección forzada la camisa interna es una camisa dimple jacket, manteniendo una entrada y salida por medio de una bomba de recirculamiento; diseñado con fondo abombado, puertos de medición de tres variables (pH, temperatura y oxígeno disuelto); salida para descarga tipo clamp con válvula de mariposa, un agitador eléctrico impulsado por un motorreductor de 1 hp 110 v. Este prototipo es más versátil, de un costo más económico comparado con otros equipos similares el cual será útil para el proceso de biofermentaciones de residuos agroforestales.

Palabras clave: Agroresiduos, contaminación, fertilizante, fermentación, suelo.

Introducción

Actualmente el uso de biofertilizantes ha revelado el enorme potencial para el avance en la agricultura sostenible, así como la mejora en la calidad del contenido biodisponible del suelo. Aprovechar los residuos agroforestales para generar un nuevo producto impacta en la disminución de desechos contaminantes, para esto se requiere investigación en el diseño de equipo especializado de procesos, que transformen los residuos agroforestales por medio de fermentación anaerobia de mezclas semisólidas, beneficiando a la población del municipio de Perote.

Los residuos lignocelulósicos representan grandes volúmenes en diversos países, que sin ser tratados se convierten en un problema, por lo cual usando las tecnologías adecuadas estos se pueden convertir en oportunidades en áreas como producción de energía limpias como bioetanol, producción de papel, alternativas de sustrato para producción de alimentos, reduciendo con esto problemáticas como generación de residuos contaminantes, sobre extracción de recursos usados como materias primas, uso de espacio en rellenos sanitarios y generación de gases de efecto invernadero por descomposición de los residuos (Aburto et al., 2008; Mejías-Brizuela et al., 2016; Ozcariz-Fermoselle, 2016). La fermentación anaerobia es un proceso en el cual microorganismos por medio de digestión descomponen la materia orgánica y biodegradable en ausencia de oxígeno con lo cual se produce metano y dióxido de carbono, en su mayoría, este proceso puede usarse para tratar los materiales lignocelulósicos.

Un fermentador de tipo discontinuo que ocupa un sistema cerrado por ser un medio en que se añade toda la solución con los nutrientes necesarios y la cantidad total a fermentar la cual permite que se lleve a cabo la inoculación de los microorganismos anaerobios; con las condiciones necesarias para el proceso de fermentación y un sellado aséptico para la mezcla de gases, sólidos y líquidos que trabajan a una cierta temperatura aumentando, el crecimiento microbiano, en la cual no se añade ningún agente después del cierre (Lorenzo y Abreu, 2005; Flores y Dixon, 2020). Generalmente un fermentador en su mayoría diseñado de forma cilíndrica, esférica o de cono; donde la finalidad principal es mantener un sistema biológicamente activo, en recipientes fabricados en materiales entre los que destacan el acero inoxidable, vidrio o plástico, con lo cual se busca mantener ciertas condiciones ambientales que sean propias a los microorganismos que deben crecer y cultivarse en el medio con ciertas condiciones principales como el pH, concentración de oxigenación y la temperatura.

El presente trabajo descrito, es parte de un proyecto financiado de TECNM PRODEP 2023; el cual se realizó a cargo del cuerpo académico CA-006 de Biotecnología y Agroforestería del Instituto Tecnológico Superior de Perote, con el objetivo de diseñar y construir un prototipo de fermentador de mezclas semisólidas, para la fabricación de un biofertilizante a partir de residuos agroforestales en la zona de Perote, Veracruz. Se diseñó y construyó un fermentador de tipo

anaerobio para mezclas semisólidas el cual tiene como características, la eliminación del oxígeno, de capacidad de hasta 60 l.

Materiales y métodos

Investigación

Mediante el método de investigación analítico, se analizaron los modelos de fermentación ya establecidos por la bibliografía, e identificaron el tipo de material para su construcción, características, componentes, herramientas y normas para poder alcanzar los objetivos planteados.

Se determinó usar acero inoxidable, generalmente el contenido de níquel tiene su variación de 3.5 a 22%, el de molibdeno 1.5 a 6% y finalmente el de cromo de 16 a 28%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 316, 310 y 317. Es fácil de transportar, tratamiento térmico alto y su alta resistencia a temperaturas lo hace un material utilizable en procesos con elevadas temperaturas o sistemas criogénicos, además de que es fácil unirlo por medio de soldadura (Gamboa-Poveda y Álvarez-Martínez, 2014, Flores y Gavilanes, 2020).

Cuando el cromo eleva un porcentaje arriba de 16%; regularmente los aceros inoxidables austeníticos AISI 302, 304 y 316 fueron forjados CF-8, CF8M como grados fundidos (González 2006; Gómez-Jiménez, 2015).

Tabla 1. Composición química del acero inoxidable 304 AISI/SAE.

AISI/SAE	% C	%P	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% S	Otros
304	0.08	0.040	0.9	18.00	10.00	0.025	-	

Fuente: Gómez-Jiménez (2015).

Diseño del equipo

Se diseñó en base a las ecuaciones para obtener información numérica acerca de las propiedades y dimensiones del objeto de estudio. Posteriormente, fueron realizados los planos mediante el software SolidWorks, algunos de los componentes que lo conforman son:

Motorreductor

El motorreductor es la unificación de un motor eléctrico, ya sea monofásico o trifásico con un reductor de velocidad, el cual tiene como finalidad reducir la potencia de la primera máquina para el mezclado deseado de la materia incorporada al recipiente. Su principal función consiste en disminuir la velocidad de rotación de un motor que entrega altas revoluciones por minuto mediante engranajes para la reducción por niveles de la potencia del motor (Giraldo-Suárez y Sánchez-Acevedo, 2009).

Encamisado

Es una incorporación de un doble forro (fondo) del recipiente, con el propósito de aumentar o disminuir la temperatura del mezclado a fermentar; en el interior de la camisa se incorpora un líquido que sea capaz de fluir tanto calor como enfriamiento. En caso de ser necesario, este fluido es difícil limpiar mecánicamente el interior del encamisado. Por tanto, se seleccionan fluidos como el agua para que realice el recirculado de la temperatura (Moreno-Alemán y Proaño-Ávila, 2022).

Termopozo

Dispositivo sobre el cual se albergan materiales de medición como son la termocupla, sensores de pH, sensores de temperatura, manómetros para el análisis de presión que se genera al interior del tanque reactor por medio del aumento de gases como el gas metano, sondas de burbujeo, entre otros; como protector de estos, para poder ser introducidos en altas temperaturas, sin provocar algún fallo en sus rangos de medición (Ríos et al., 2015).

Agitador

Es importante tomar en cuenta la velocidad en que circula la mezcla a fermentar, esto porque con ello se selecciona el tipo de fermentador a fabricar, además del consumo de potencia energética que requiere como base, y el cálculo del diámetro del tanque reactor como el diámetro del agitador (Castillo, 2023).

Válvulas

Tiene como finalidad regular el paso de los fluidos que son ingresados a un recipiente regulando en un total de porcentaje el flujo modificando la apertura del orificio, de tal forma que a medida de que este fluido ingresé en el orificio de la válvula, la velocidad del fluido en cuestión aumenta para mover un flujo másico a través de la válvula; esta velocidad generada es denominada presión, al haber un aumento de velocidad nos indica que existe una menor presión (sección pequeña transversal) (Woolf, 2009, Katzman et al., 2024).

Soldadura TIG

Es catalogada como una soldadura que se ajusta tanto a la corriente directa DC como a la corriente alterna AC, esta soldadura se caracteriza por la utilización de un electrodo de tungsteno unida a una protección generalmente de helio y argón (Kalpakjian y Schmid, 2008, AGA, 2019).

Descripción del cálculo

Se sabe que tendrá una forma cilíndrica por lo cual se utiliza la fórmula de la ecuación 1.

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad [1]$$

Para lo cual se halló las medidas necesarias para una capacidad de 60 litros, donde se hallará el diámetro del tanque y la altura del cilindro conforme a la ecuación 2.

$$r_t = \sqrt{\frac{v_d}{\pi \cdot h_t}} \quad [2]$$

Sobre lo obtenido en el anterior paso, se integra la fórmula para el dimensionamiento del tanque exterior o encamisado.

$$\emptyset \text{ camisa} = \emptyset \text{ tanque} + x \text{ (pulgada)} \quad [3]$$

Se toman en cuenta las fuerzas hidrostáticas (Espinoza y Graciano, 2019) como se indica en la ecuación 4, que optarán por el dimensionamiento del prototipo. Así como la densidad del producto, de esta forma se obtendrá el dimensionamiento del agitador, y las paletas necesarias a

integrar al mismo y el posicionamiento de este en el interior del tanque; analizando las fuerzas transversales, centrífugas y tangenciales que ejercerá con su movimiento. Para la obtención de las fuerzas hidrostáticas horizontales se utilizó la fórmula:

$$FHv = (\rho \cdot g \cdot h) \cdot (2r \cdot h) \quad [4]$$

Mientras que para la fuerza hidrostática en el eje vertical se utiliza la ecuación 5:

$$FHv = (\rho \cdot g \cdot h)(\pi \cdot r^2) \quad [5]$$

Otra ecuación importante en la fabricación del fermentador es el agitador, el cual tendrá como objetivo principal el mezclar el efluente y obtener el producto deseado con sus respectivos subproductos; el agitador siempre debe ser 0.35 y 0.65 veces menor que el diámetro del tanque, y se obtiene a partir de la ecuación 6:

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ agitador} &= \emptyset \text{ tanque} \\ &\cdot (0.65) \text{ o } (0.35). \end{aligned} \quad [6]$$

El siguiente paso consiste en la potencia que el motorreductor, el cual debe tener para realizar el movimiento del agitador para que este termine su mezclado eficientemente (Uribe et al., 2012). Por tanto, se introduce el número de Reynolds descrito en la ecuación 7:

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} \quad [7]$$

Para la obtención de la potencia del motor se tomará en cuenta la densidad del fluido que se necesita mezclar dando como resultado la posición y la velocidad de la mezcladora provocando la eficiencia y la calidad del producto final. Este debe tomar en cuenta la constante obtenida para cada tipo de impulsor (agitador) (McCabe et al., 2013).

Tabla 2. Constante para agitador

Tipo de impulsor	K_T
Impulsor, hélice tres paletas	
Paso 1.0	0.32
Paso 1.5	0.87
Turbina	
Disco de seis palas	5.75
Cuatro palas inclinadas	1.63
Seis palas inclinadas	1.27
Palas planas, dos palas	4.70
Impulsor HE-3	0.28
Cinta helicoidal	
Ancla	0.85

Fuente: McCabe et al. (2013).

Para que la estructura sea de un material resistente es necesario determinar la altura y el posicionamiento de la soldadura. Por ello, se utiliza el cálculo de la masa de cada elemento a partir de la ecuación 8 de la densidad:

$$m = \rho \cdot V \quad [8]$$

De la siguiente manera se obtendrá los esfuerzos de la estructura con relación al peso de las masas y la gravedad misma, como se muestra en la ecuación 9:

$$W = m \cdot g \quad [9]$$

Para finalmente realizar las respectivas sumatorias de los momentos estáticos (ecuación 10).

$$\Sigma M = 0 \quad [10]$$

Por último, se determina la altura del filete por medio de la ecuación 11.

$$W = \frac{F_{max}}{R_t \cdot l} \quad [11]$$

Construcción

Se realizó la construcción del equipo con todos sus materiales, y piezas como, motor, eje, agitador, entradas, salidas, enchaquetado, montaje, soldadura, estructura de la base que sostiene el fermentador (Norton, 2020).

Puesta en marcha

Se agregaron lodos para probar la estabilidad del equipo, se arrancó el equipo en las condiciones de operación establecidas y la capacidad del enchaquetado para transferir el calor requerido al proceso.

Resultados y discusión

El fermentador tendrá una altura de 0.60 m ya que es una óptima altura para un fácil movimiento del aparato en el área de investigación. Los datos obtenidos a partir de las siguientes ecuaciones serán considerados en los planos de construcción 2D.

Cálculo del volumen y diámetro

$$v = 60 \text{ litros.}$$

$$r_t = \sqrt{\frac{v_d}{\pi \cdot h_t}}$$

$$r_t = 0.1890 \text{ m}$$

$$D_t = 0.378 \text{ m} = 37.8 \text{ cm}$$

Espesor de pared

Se seleccionó un espesor para el acero inoxidable de 3.18 mm como margen de espesor mínimo 2.18 mm máximo de 3.5 mm en términos de análisis, según Aro (2011); para soportar la carga.

Camisa

Para la realización de la camisa del tanque se ocupó una lámina de enchaquetado dimple jacket de 3x10 ft, cálculo de su diámetro de la chaqueta que tiene 1 pulgada de diferencia para la entrada del fluido, la cual servirá como separación entre el tanque y la chaqueta de camisa.

$$\varnothing_{camisa} = \varnothing_{tanque} + 1(0.0254)$$

$$\varnothing_{camisa} = 0.378 + 0.0254 = 0.4034m = 40.3\text{ cm}$$

Altura de camisa

A continuación, se presenta la altura de la camisa (chaqueta).

$$H_c = \frac{vr}{\pi \cdot rt} + 0.0254 = \frac{0.06}{0.587479} = 0.56\text{ m}$$

En total se tiene como resultado que la camisa tendrá 56 cm de altura.

Volumen de la camisa para la cantidad de agua

$$v = \pi \cdot (r_e^2 - r_{int}^2) \cdot h.$$

$$v = 8.2275536 \times 10^{-3} = 8.227\text{ litros.}$$

Por tanto, debe seleccionarse una válvula de bola para la salida y la entrada de calefacción de ½ pulgada respectivamente.

Tapa del tanque

La tapa del fermentador será integrada por una entrada del eje de 1.5 mm para el agitador del tanque este constará de un espesor de 3.18 mm y tendrá entradas para termopozos que medirán el pH, oxígeno disuelto y la temperatura de la fermentación, esta misma será sellada por una abrazadera de tornillo y su respectivo empaque.

Fuerza hidrostática horizontal:

$$FHv = (\rho \cdot g \cdot h) \cdot (2r \cdot h)$$

$$FHv = 1353.587 \text{ N}$$

Volumen de cilindro interno o tanque real de utilización:

$$v_{real} = 60 \text{ litros.} = 0.06 \text{ m}^3$$

Factor de seguridad de desborde:

$$x = 1.5$$

Por lo cual:

$$v_d = v_r + v_x(x)$$

$$0.06 + 7.5 \times 10^{-3} = 0.0675 \text{ m}^3 = 67.5 \text{ litros}$$

Para un agitador tipo pala. Según castillo (2013) el diámetro del agitador debe ser de 0.35 a 0.65 veces el diámetro del tanque:

$$\phi a = 37.8 \text{ cm} \cdot 0.65$$

$$\phi a = 24.57 \text{ cm} = 0.2457$$

A partir de los criterios de estructuras para lo cual a partir de la suma general se obtiene la fuerza mayor aplicada es decir 1075.98 N, con lo cual se obtendrá la altura del filete para la soldadura selecciona Tig, con una fuerza de tracción al electrodo de 560 Mpa. La longitud del ancho del filete con un perfil rectangular es de 4 mm.

$$GT = \frac{F_{max}}{R_t \cdot l}$$

$$GT = 0.04891$$

Al calcular la garganta teórica se podrá resolver la altura del filete:

$$w = \frac{0.04891}{0.05071}$$
$$w = 0.9645 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

Al determinar las ecuaciones del dimensionamiento del tanque, se realizó el modelado en 3D, esto al tomar en cuenta el dimensionamiento de las partes en planos computarizados. Definiendo las características del prototipo, se opta por manejar la soldadura tipo TIG (Rodríguez, 2020), en la mayoría de las uniones desde la base hasta la unión de la camisa y el tanque (Figura 1).



Figura 1. *Diseño del fermentador en 3D*

Fuente: Elaboración propia.

Para el prototipo se incorpora un sistema de movimiento de tres llantas para el desplazamiento seguro del fermentador, uno en cada soporte principal con un sistema de frenado y se sujetarán en la tercera llanta evitando su desplazamiento imprevisto (Figura 2).



Figura 2. *Estructura exterior final del prototipo*

Fuente: Elaboración propia.

Conclusión

El dimensionamiento general del prototipo es de un cilindro de estándares mediano de una altura de 60 centímetros y un fondo de 38 cm el cual ocupa un espesor de pared de 2.18 mm de acero inoxidable austenítico, considerando que todo tanque posee un diámetro nominal menor a 15 metros, se puede utilizar ese espesor para esas dimensiones (Aro, 2011). Después de determinar el volumen de la camisa referente al tanque interno se usó un simple jacket de 3 x 10 ft.

El volumen máximo que puede estar recirculado para el calentamiento del fermentador interno son 8 litros con 227 mililitros de agua, para la tapa del fermentador se utilizó una placa de acero inoxidable de 3.18 mm de espesor donde se realizaron entradas para el agitador y los termopozos correspondientes a los sensores de medición (temperatura, oxígeno disuelto, pH).

Los cálculos de las fuerzas hidrostáticas que se determinaron fueron: 671.33 N para el eje vertical y para el eje horizontal fueron 1353.58 N; esto se debe que las paredes del fermentador soportarán más, ya que el fluido tendrá mayor empuje hacia ellas con la agitación. El diámetro del agitador del tanque es 0.65; y está conformado por tres paletas en forma de hélice. La finalidad del equipo es llevar a cabo fermentación anaerobia para la obtención de un biofertilizante mediante la formulación por residuos agroforestales y residuos de aserrío.

Perspectivas futuras

Se pretende que este diseño sea de ayuda en el área de investigación del campus Perote, lo cual pueda proporcionarle la información necesaria a los alumnos y docentes que hagan uso de este; si bien pueden hacerse mejoras si se desea, el diseño del fermentador anaerobio toma en cuenta valores importantes para la recolección de información de nuevos proyectos en el ámbito anaerobio. El proyecto se encuentra en la mejora de la segunda etapa del proyecto del equipo que es la instalación de los sensores que permitan la recolección de los datos de las variables.

Referencias

- Aburto, J., Martínez, T., & Murrieta, F. (2008). Evaluación técnico-económica de la producción de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 23(1), 23-30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223104>
- AGA. (2019). Catálogo de electrodos comunes, especiales & Gases para corte y soldadura.28-35. Versión digital 2.0. AGA Member of the Linde Gas Group. https://www.academia.edu/6434648/Manual_del_Electrodos_y_Gases_Aga_Ver_001
- Aro, A. (2011), Diseño y cálculo de tanques de almacenamiento (inglesa). [En línea]. DYCTA. <http://www.inglesa.com.mx/books/DYCTA.PDF>.
- Castillo, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. Universidad del BIO-BIO. Facultad de Ingeniería. Chile: Universidad del BIOBIO.
- Fermoselle, O., & Virginia, M. (2016). Aprovechamiento de residuos agroforestales, con particular interés en los originados en explotaciones de Nuez Pecán (*Carya illinoensis*), por medio del cultivo de Hongos Saprófitos Saludables Ibéricos.

- Flores C., & Gavilanes, J. (2020). *Caracterización de juntas soldadas en acero inoxidable aisi 304 mediante los procesos SMAW, GMAW Y GTAW*. Escuela Politécnica Nacional. Quito Perú.
- Poveda, E., Martinez, R. A., & PRIETO, I. O. (2011). *Acero Inoxidable 316 y 316L. Propiedades y características Física-Químicas*. Fundación Universitaria los Libertadores.
- Gómez-Jiménez, D. (2015) *Soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos serie 300 mediante el proceso de soldadura mmaw (electrodo revestido) en ambiente húmedo* [Tesis de Maestría]. Repositorio Institucional COMIMSA.
- Giraldo-Suárez, E., & Sánchez-Acevedo, S. (2009). Control de velocidad del motor de inducción empleando linealización por realimentación de estados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 145-152. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75012454010>
- . Espinoza, L., González-Estrada, O. A., & Graciano, C. (2019). Análisis de un interno tipo bridade un recipiente horizontal a presión utilizando elementos finitos. *Revista UIS Ingenierías (En Línea)*, 18(3), 151–156. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3-2019015>
- Flórez-Delgado, D. F. (2020). Effect of the fermentation time on the nutritional quality of Coffea arabica L. pulp silage. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1423. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1423
- González, J., (2006). *Manual del Acero Inoxidable*. Outokumpu, S.A. España & Portugal.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008) *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación.
- Katzman, D., Moreno, J., Noelanders, J., & Mark Winston-Galant, M., (2024). Chemical Process Dynamics and Controls. In: *Dynamical Systems Analysis* (pp. 55-67). UMICH. https://open.umich.edu/sites/default/files/downloads/chemical_process_dynamics_and_controls-book_2.pdf
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (2013). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. McGraw-Hill.

- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillén, E., & Galáan-Hernández, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41.
- Moreno-Alemán, M. A., & Proaño-Avila, K. D. (2022). *Diseño y simulación de una marmita con agitador para pasteurizar 250 litros de leche para la comunidad de Alaspungo, parroquia de Nono* (Bachelor's thesis).
- NORTON, R. (2020). *Diseño de maquinaria*. (Segunda ed.) McGRAW-HILL.
- Ríos A., Herrera L., Jesús E. & Osiel A. (2015). *Estandarización y normas de operación en la línea estructural*. institución Universitaria pascual Bravo – IUPB
- Rodríguez, H. (2020). *Soldadura de los Aceros Inoxidables*. <https://ingemecanica.com/tutorial/semanal/tutorialn48.html>
- Uribe, A., Rivera, R., Aguilera, A. & Murrieta, E. (2012). Agitación y mezclado. *Revista enlace químico*, 4(1), 22-29. http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/6256/1/3_Agitaci%C3%B3n%20y%20mezclado.pdf
- Woolf, P. J. (2009). *Chemical process dynamics and controls*. University of Michigan Engineering Controls Group.

**María Salomé Alejandre Apolinar¹, Hugo Amores Pérez¹,
Irma Angélica García González¹, Alejandro Martínez
Portugal¹, María Graciela Hernández y Orduña²**

Página 102

Resumen

La crianza de aves de corral se basa en el cuidado y alimentación de aves domésticas para aprovechar sus productos con fines alimenticios o comerciales. México ocupa el sexto lugar en producción de carne de ave, siendo el pollo un alimento principal, por lo que la avicultura ha generado innovaciones tecnológicas, especialmente en nutrición animal, para satisfacer la alta demanda de carne y huevos. En este contexto, se ha desarrollado un prototipo de incubadora automatizada para huevos, controlado mediante una aplicación móvil. Esta incubadora gestiona la temperatura, humedad, volteo, ventilación y tiempo, al garantizar una incubación adecuada sin necesidad de una gallina. Las principales innovaciones incluyen bajo consumo de energía, bajo costo de mantenimiento, monitoreo remoto, una estructura desmontable, cámara de monitoreo en tiempo real y un panel solar para emergencias. Este diseño mostró ventajas competitivas comparada con patentes como CN213663134U, CN210929151U y CN207219795U, en automatización y monitoreo. Las pruebas realizadas con la incubadora resultaron en altos índices de nacimientos de pollitos saludables, demostrando la eficacia del diseño y la utilidad de la aplicación móvil para ajustar parámetros críticos durante el proceso de incubación, lo cual permite ajustar temperatura, humedad y rotación de los huevos. La incubadora es accesible y económica gracias a sus componentes de bajo costo y estructura de madera de pino.

Palabras clave: Automatización, aves de corral, granja avícola, incubadora.

Introducción

La avicultura tiene dos propósitos fundamentales: la producción de carne y huevos, ambas son pilares fundamentales en la industria alimentaria; estas actividades son unas de las más intensivas en la ganadería, las cuales han logrado avances significativos no sólo en términos de adopción de tecnología, sino también en la eficiencia y productividad de ambos productos (Alvarado, 2021).

La crianza manufacturada de huevos de ave desde que las civilizaciones más puntuales de China y Egipto, más de 1000 A.C., practicaban. El éxito o fracaso de estas estrategias de cría dependía casi totalmente del criterio humano sobre la temperatura y la humedad, y era más un arte que una ciencia. La principal estrategia avanzada de incubación se remonta a los trabajos del físico Réaumur, difundidos en París en 1749.

Por lo anterior, se define que una incubadora es un dispositivo que regula la temperatura, la humedad y las condiciones de movimiento para el posterior desarrollo y adecuada reproducción de diversas aves (Coria, 2019). Estos desarrollos en la construcción de este tipo de equipos se generan desde el año 1870, perfeccionándose en inventos y construcciones que refuerzan la producción de máquinas que puedan ser manipuladas con facilidad en el proceso de incubación. Destacando los avances y progresos en la mecanización de las incubadoras que revolucionan la industria en la actualidad debido a la utilización de la visión artificial, la autonomía mecánica, las innovaciones de datos y la biotecnología son algunas de las claves en esta era (Espíritu et al., 2022). Actualmente existe sistemas o modelos de incubadoras modernas como las hidroincubadoras, aeroincubadoras y electroincubadoras; según la calefacción que verifica el agua caliente, aire caliente o la electricidad.

La producción avícola manufacturada ha aumentado significativamente en los últimos años debido al gran valor nutricional que aporta al ser humano, muchas industrias se encargan de realizar todo el proceso productivo: pollos desde su nacimiento hasta su formación y destino; es decir, su venta como alimento. Por lo tanto, implementar una granja avícola de pollos de engorde y gallinas ponedoras es una opción atractiva ya que su demanda es constante y su retorno de inversión es inmediato. Otro aspecto para considerar es implementar buenas prácticas avícolas ya que disminuyen las problemáticas que se presentan dentro de la misma, en caso de enfermedades que afectan tanto a los animales como al ser humano, como reducir el número de mortalidad de las aves, prevenir enfermedades antes de ocurrir un contagio el en lote de las aves que se encuentran divididas por etapas (Velasco, 2016).

Por ello, el objetivo es implementar tecnología automatizada a través de una incubadora que permita proporcionar las condiciones óptimas necesarias para que los huevos fertilizados puedan desarrollarse y eclosionar. Lo que permitirá que las aves obtengan un buen desarrollo y así se impulse la producción huevos de calidad para continuar el proceso de incubación (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

Fundamentación Teórica

Incubación Artificial

El método de incubación artificial en gallinas ponedoras o de postura se basa en reemplazar a la gallina sin la necesidad de que este clueca o culeca o estar situada sobre el huevo para que este realice su desarrollo y nacimiento. Para que una incubación sea eficaz es necesario que el huevo esté fecundado (Finca Casarejo, 2019).

Importancia de la Incubación Artificial

La producción de gallinas ponedoras para la obtención de huevos comerciales requiere un abastecimiento constante de pollitas de reemplazo. En este contexto, la incubación artificial permite programar nacimientos, optimizar el espacio en granjas y reducir la pérdida de huevos fecundados (Sembralia, 2021).

Elementos fundamentales de una incubadora Artificial

Parámetros de Incubación

Temperatura

La temperatura es un factor esencial y relevante en la eclosión, dado que los huevos se calientan a través del debido al cambio de calor entre el aire y los huevos. La temperatura óptima de eclosión debe ser de 37.5 °C a 38 °C (Tienda Ganadera, 2023).

Humedad

El calor es el factor más relevante y sensible en la etapa de eclosión. Los cambios de temperatura deben monitorearse continuamente, ya que un aumento o disminución de la temperatura puede tener diferentes resultados. Los huevos fértiles son muy delicados a los cambios de temperatura. Esta variable se caracteriza por el desarrollo del embrión dentro del huevo durante el periodo de eclosión. Juárez (2014) menciona que es necesario tener en cuenta un control de variables, como lo son: temperatura a 37.5°C antes de colocar los huevos, humedad relativa del 50-55%, alrededor de 30 a 35 ml de agua en el recipiente considerando que en la última etapa se incrementa al 65-70% (Aviagen,2020).

Volteo

Durante los primeros 18 días de la incubación natural, las aves les dan la vuelta a los huevos con frecuencia de 1 a 2 horas. Esta rotación es fundamental y debe simularse mecánicamente en la eclosión artificial, de lo contrario el embrión se adherirá a la membrana de la cáscara, provocando su muerte. Al girar, el huevo debe girarse a 90 grados y mantenerse a 45 grados del eje vertical (Tienda Ganadera, 2023). Si no se lleva a cabo de manera correcta el volteo de los huevos puede provocar que los pollitos nazcan en mala posición, deformes o con el plumón corto y áspero, si se voltean los huevos en una sola dirección, el volteo es crucial desde el día 0 al día 15 de lo contrario, se provocará ruptura de vasos sanguíneos y de yemas, lo que ocasiona reducir la tasa de eclosión.

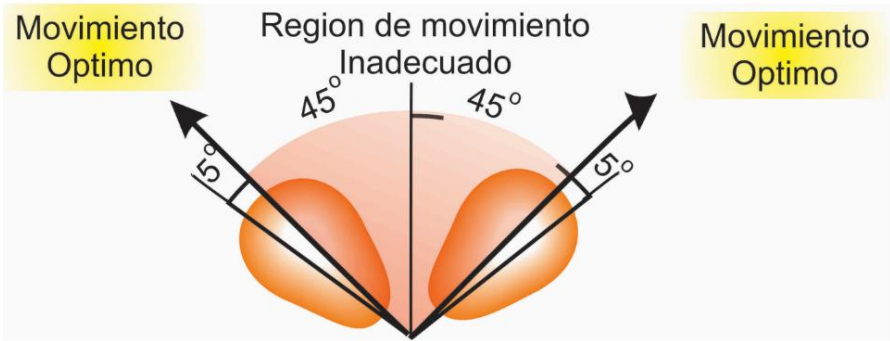


Figura 1. Volteo de los huevos

Nota: Adaptado de "Volteo del huevo durante la Incubación" (Emtech, 2020).

Tabla 1. Valores durante el periodo de incubación

Días de incubación	Temperatura (°C)	Humedad relativa	Volteos diarios
1-18	37.5° – 38°	60-65	2
19-21	37°	70-80	0

Fuente: Elaboración propia.

Ventilación

La ventilación desempeña tres funciones fundamentales: permitir que los embriones respiren con una constante presencia del oxígeno en la incubadora; limitando el O₂ de la atmósfera a menos del 0,5% y en contadas ocasiones supera el 1%, debido a que esto provoca un desarrollo embrionario lento; y distribuir la temperatura y la humedad. El aire circulante en el interior de la incubadora está asegurado por: ventiladores, inyectores o extractores, puertas o bocas de entrada y salida, etc. (Ortega, 2015).

Diseño y construcción de una Incubadora Artificial

Materiales y Componentes

Estructura externa: Caja de madera

Sistema de calefacción: Foco cerámico de 100w

Control de temperatura: Sensor DHT11

Control de humedad: Humidificador o recipiente con agua.

Sistema de volteo: Servo-Motor de rotación con temporizador.

Sistema de ventilación: Extractores o ventiladores internos de 40mm x 10 mm 12v.

Proceso de ensamblaje

El sistema de incubación cuenta con dos bases con sus charolas adecuadas para el posicionamiento y movimiento de los huevos, este movimiento se obtiene de un motor de 15 kilogramos que estará sujeto con unas bases de acero inoxidable que actuará como mecanismo para su movimiento.



Figura 2. *Caja de Madera*



Figura 3. *Servomotor*

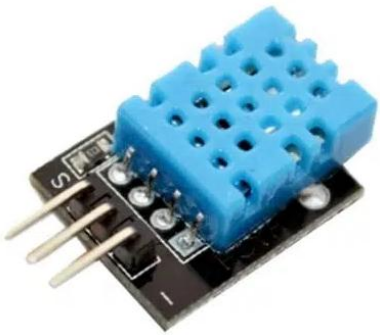


Figura 4. *Sensor DHT11*



Figura 5. *Pantalla LCD*

Fuente: Hwlibre (2022).

Cuenta con una pantalla LCD que muestra el panel de control, donde se visualizan las variables y el menú de inicio, los tres botones permiten ajustar los parámetros establecidos. Se diseñó un sistema de control de temperatura y humedad preciso y confiable que utiliza un sensor DHT11 con el cual se puede regular las variables para que se desea controlar. El control de temperatura y humedad se ajusta de acuerdo con los parámetros que se necesiten.

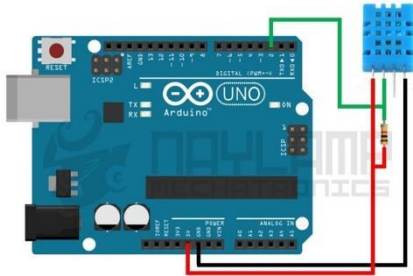


Figura 6. Arduino Uno



Figura 7. Sensor de reloj

Fuente: Naylamp, Mecatronics (2023).

Esta incubadora cuenta con un sensor de reloj para poder medir el tiempo y fecha exacta en la que se está realizando la incubación y de esta manera poder controlar el volteo de los huevos cada cierto tiempo. Además, se encuentran focos con resistencias especialmente para incubadoras y terrarios al igual que una membrana ultrasónica el cual nos permite dispersar la humedad por toda la incubadora de una manera más eficiente.



Figura 8. Foco cerámico de 100w



Figura 9. Módulo wifi

La automatización y conexión wifi se logra por medio de dos Esp 32, esto realiza la comunicación y control inalámbrico mediante el wifi para la conexión de la aplicación móvil. Cualquier productor avícola puede monitorear y manipular los datos desde su teléfono celular por medio de la aplicación móvil con la cual se tiene un mejor control y brinda comodidad.

Se diseñó una placa fenólica basada en el circuito previamente ensamblado en la placa protoboard. Esta alternativa fue seleccionada debido a que, en muchos casos, las conexiones en la protoboard pueden presentar fallas o desconexiones accidentales. Al implementar el circuito en una placa fenólica, se garantiza una estructura más estable y organizada, facilitando la conexión de los componentes de manera precisa y así reducir posibles errores de conexión.

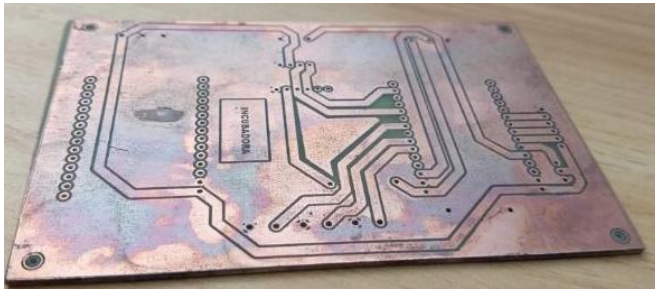


Figura 10. *Placa fenólica*

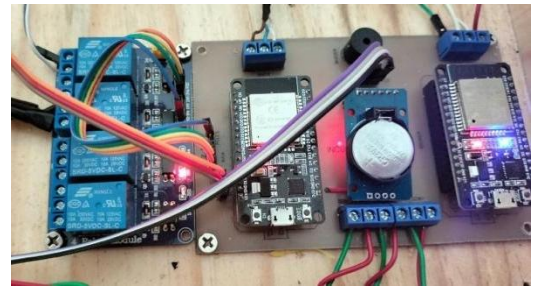


Figura 11. *Instalación de componentes*

Esta propuesta igual cuenta con un sistema de celda solar para emergencias ya que cabe recalcar que nunca le debe faltar la energía para poder estar caliente y húmeda por dentro.



Figura 12. *Panel solar fotovoltaico*

Proceso de Incubación Artificial

Selección de huevos

Antes de su colocación se debe realizar una valoración previa, seleccionando los huevos de gallina fértil, limpios y sin fisura se recomienda que sean huevos que provengan de gallinas saludables de entre 24 y 36 semanas. Hidalgo et al. (2021) señala que, el huevo fértil es un organismo vivo al que se debe prestar mucha atención y tratar con sumo cuidado. Se recomienda no elegir huevos muy grandes o muy pequeños, esto porque la tasa de eclosión puede ser baja. Otra recomendación es que los huevos deben tener menos de siete días desde la puesta y evitar los que tengan más de 10 días (Sembralia, 2021).

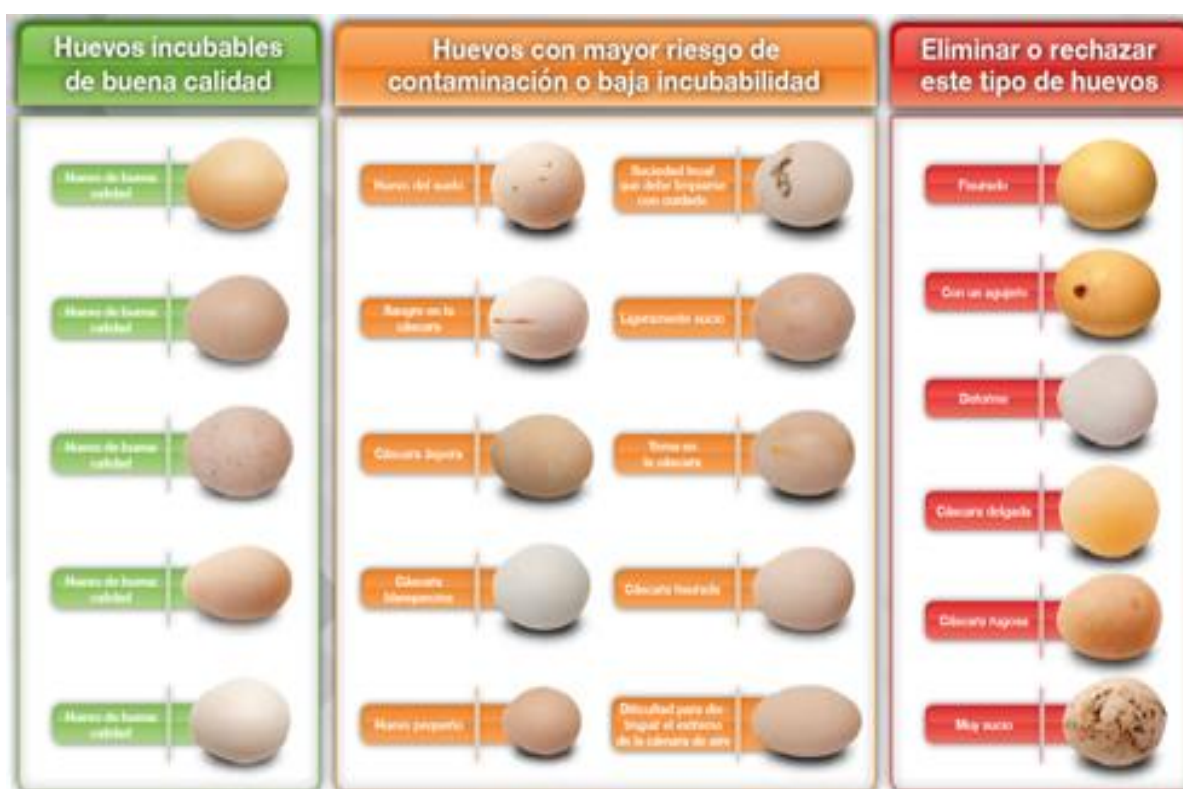


Figura 13. Caracterización de huevo óptimo para incubación

Fuente: Aviagen (2011).

Colocación de los huevos en la incubadora

El manejo de los huevos debe hacerse bajo estricta higiene y seguridad. Para la colocación dentro de la incubadora se realiza cada tercer día, es decir que los huevos fértiles una vez recolectados solo deben permanecer 3 días en el área de almacenaje a temperatura ambiente para luego colocarse dentro de la incubadora, se colocan con la parte puntiaguda hacia abajo (Zapata, 2024).

Control de Parámetros

Temperatura: 37.5°C - 37.7°C.

Humedad: 40% - 50% (primeros 18 días) y 65% - 70% (últimos 3 días).

Volteo: Cada 4 horas durante los primeros 18 días.

Ventilación: Permanente para garantizar la oxigenación del embrión.

Desarrollo embrionario

A partir del día 18 dejar de rotar los huevos aumentar la humedad al 65-70% para evitar que las membranas se sequen. Los pollitos comenzarán a picar el cascarón el día 21, no se debe abrir la incubadora durante la eclosión para que se mantenga en condiciones óptimas. Después de eclosionar, se deben dejar los pollitos en la incubadora hasta que estén completamente secos en un lapso de 6 a 12 horas. Las dos fases más sensibles en la incubación son el comienzo de la circulación sanguínea, que se da en la primera semana, y el comienzo de la respiración pulmonar que sucede en los últimos cinco días de incubación (Alarcón et al., 2017).

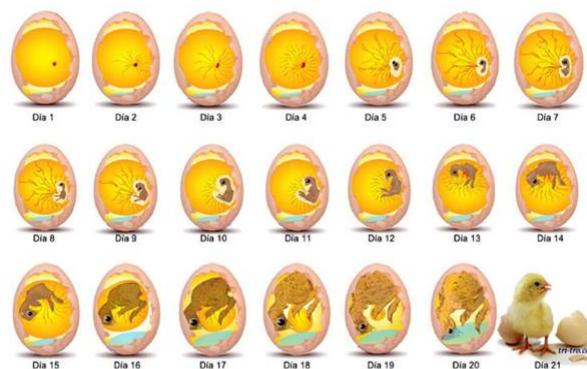


Figura 13. *Desarrollo embrionario*

Fuente: Microsoft Bing (s.f.)

Resultados

Este estudio permitió evidenciar que, manteniendo las condiciones apropiadas dentro del manejo e incubación de los huevos, se logra un gran número de nacimientos (eclosión) disminuyendo así el porcentaje de muerte embrionaria; Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez (2017) resaltan que “Es fundamental verificar las condiciones de incubación (temperatura, humedad, volteos, posición)”. Asimismo, Jara (2019) considera que los factores antes mencionados son de vital importancia efectuarlos en el proceso de incubación, con el fin de reducir los inconvenientes dentro de la incubadora logrando disminuir la muerte embrionaria y obteniendo un alto porcentaje de aves sanas y vivas.

Para Barboza (2021), se consideraron algunos datos para la selección de estos huevos: una vez que el huevo ha sido colocado, su potencial de nacimiento no puede ser mejorado, pero si puede ser mantenido. Si este huevo no es manejado correctamente, su potencial de nacimiento se deteriorará muy rápidamente. La línea que va de la forma circular del cuenco al polo puntiagudo debe ser lisa y uniforme, manteniendo una figura oval. Esto mantiene una relevancia sumamente importante en el crecimiento del embrión, porque afecta las posiciones tan importantes para la eclosión (Del Valle, 2024). En la figura 14 (a, b) se puede observar el funcionamiento de una ovoscopía, en uno de los huevos que se eligieron para inubar, en donde se muestra que el embrión está creciendo y se encuentra vivo.

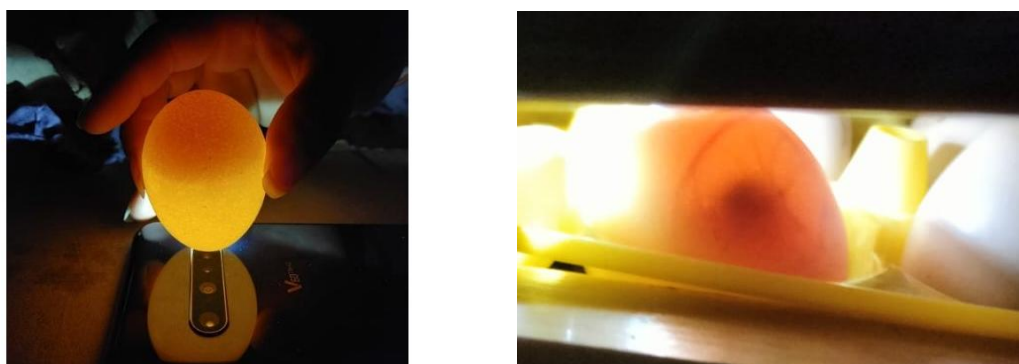


Figura 14 (a, b). *a). Selección de huevo fértil. b). Huevo fértil -ovoscopía*



Figura 15. *Incubadora Automatizada*

Se logró diseñar y construir un prototipo automatizado capaz de mantener las 2 variables: Humedad y temperatura controlado vía remota a través de una aplicación móvil. De 20 huevos colocados en la incubadora se tuvo una eficiencia del 75%, ya que nacieron 17 de 20. La tasa de eclosión se consideró como indicador de eficiencia de la incubadora tomando en cuenta la siguiente fórmula:

$$\text{Tasa de Eclosión(\%)} = \left(\frac{\text{Número de huevos eclosionados}}{\text{Número de huevos fértiles}} \right) \times 100$$

Fuente: Bioquímica Diagnóstica BQD-YAI (2018).

$$\text{Tasa de eclosión (\%)} = \frac{(17)}{20} \times 100 = 85\%$$

Si se considera que una incubadora eficiente debe tener una tasa de eclosión del 80-90% o más de huevos fértiles se cumple este parámetro, ya que en las incubaciones realizadas se obtuvo el 85% de pollitos sanos, con una temperatura y humedad constante, sin picos de consumo de energía y sin necesidad de realizar ajustes manuales durante el proceso. La incubadora está equipada con un servomotor, lo cual realizará el volteo en automático, por lo que el trabajo pesado de voltear los huevos varias veces al día se realiza automáticamente para garantizar una correcta eclosión. Por tal motivo, se concluye que la incubadora es altamente eficiente.



Figura 16. *Nacimiento de las aves*

Se realizaron las primeras pruebas de incubación para checar el funcionamiento óptimo de la incubadora. Para su operación se realizó una aplicación móvil para ser controlada la incubadora vía wifi. La temperatura que es recomendable utilizar para una incubación se encuentra definida anteriormente, cabe aclarar que todo el rango de temperatura es al interior de la incubadora. Se elaboró un análisis de las incubaciones en las cuales se recopilaban los siguientes datos en cada incubación; humedad y temperatura. Cabe resaltar que los parámetros siempre estuvieron dentro de los límites que se tienen para cada variable.

Tabla 2. Incubación

Incubación			
Días	Volteo de huevos	Temperatura monitoreada	Humedad monitoreada
Día 1	Cada 8 horas	37.5 °C	52%
Día 2	Cada 8 horas	37.6 °C	52%
Día 3	Cada 8 horas	37.9 °C	53%
Día 4	Cada 8 horas	38 °C	55%
Día 5	Cada 8 horas	37.4 °C	54%
Día 6	Cada 8 horas	37.8 °C	52%
Día 7	Cada 8 horas	37.5 °C	52%
Día 8	Cada 8 horas	37.7 °C	53%
Día 9	Cada 8 horas	37.5 °C	53%
Día 10	Cada 8 horas	37.8 °C	52%
Día 11	Cada 8 horas	37.9 °C	52%
Día 12	Cada 8 horas	37.6 °C	54%
Día 13	Cada 8 horas	37.4 °C	52%
Día 14	Cada 8 horas	37.5 °C	52%
Día 15	Cada 8 horas	37.5 °C	53%
Día 16	Cada 8 horas	37.5 °C	52%
Día 17	Cada 8 horas	37.6 °C	52%
Día 18	Suspensión	37 °C	75%
Día 19	Suspensión	36.9 °C	75%
Día 20	Suspensión	37 °C	74%
Día 21	Suspensión	37 °C	75%

Fuente: Elaboración propia.

Se mantuvo un rango de 37.4°C a 38.0 °C y una humedad relativa de 53% a 54%, como se puede observar en las siguientes imágenes se mantuvo un control acertado y un buen desempeño. Por otro lado, pudo comprobarse la funcionalidad de la aplicación móvil.



Figura 17. Ilustración 64 Datos (1) de aplicación móvil
Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Ilustración 65 Datos (2) de aplicación móvil
Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Ilustración 66 Datos (3) de aplicación móvil
Fuente: Elaboración propia

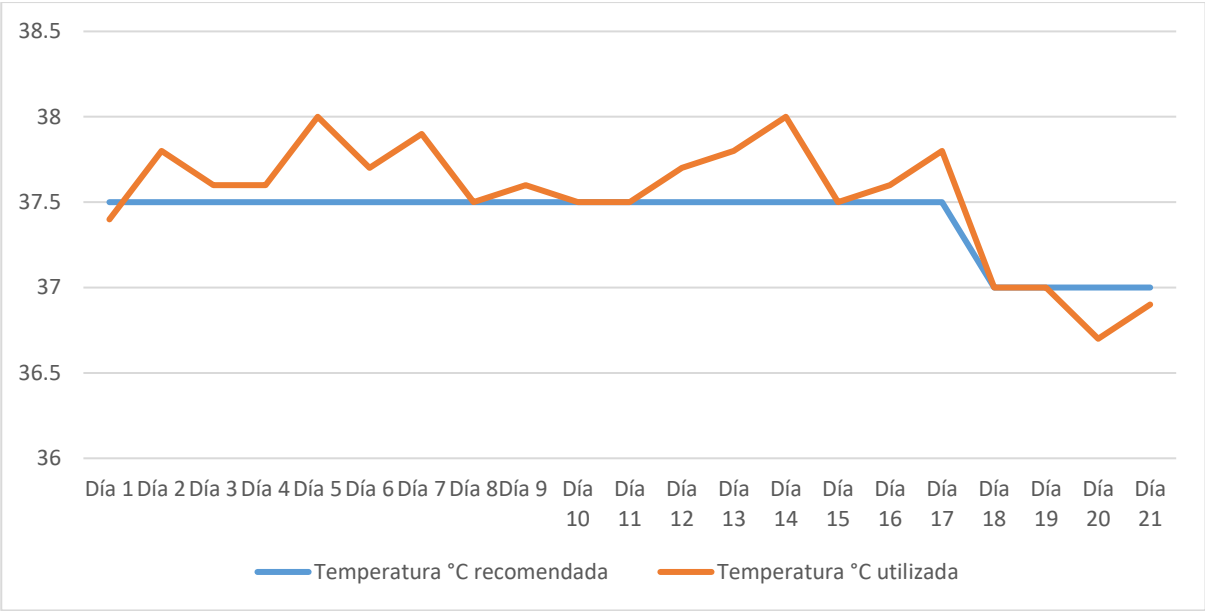


Figura 20. Gráfica de temperatura con rango de 37°C a 38°C

Para estos parámetros se elaboró una tabla para los porcentajes de la humedad relativa dentro de la incubadora, siempre se manejó un rango de humedad de 53% a 54% para los primeros 18 días de incubación, a partir del día 18 a 21 de incubación se utilizó una humedad relativa del 75%.

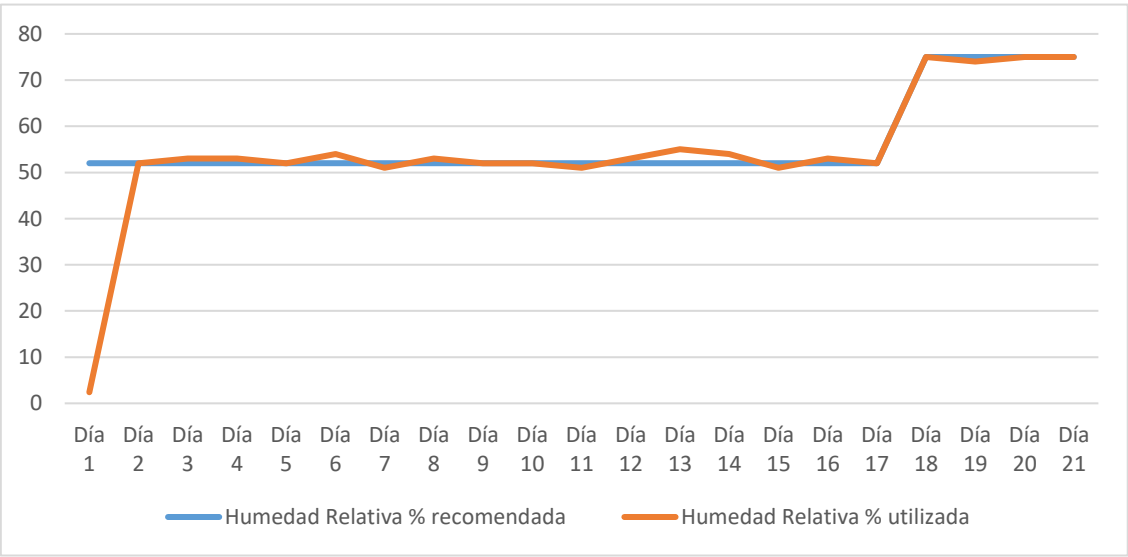


Figura 21. Gráfica Humedad relativa con rango 52% a 54%

Referencias

- Alvarado Avilés, W. G. (2021). Incidencia de lesiones macroscópicas del aparato digestivo en pollos de engorde en una empresa avícola de la provincia del Guayas [Tesis de grado]. Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVARADO%20%20AVILES%20WILLIAM%20GABRIEL.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Aviagen. (2020). *Hatchery Management: Tips for Successful Incubation*. <https://aviagen.com>
- Barboza Pitre, C. A. (2021) Diseño de una incubadora de huevos de gallina para las granjas productoras y comercializadoras avícolas en el municipio de Becerril-Cesar [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8615>
- Del Valle, W., Vera Velázquez, R., & Franco Sánchez, P. A. (2024). Implementación de una incubadora artesanal semi automática para la incubación de huevos criollos (Original). *Roca: Revista Científico-Educacional de la Provincia de Granma*, 20(2). <https://revistas.udg.co.cu/index.php/roca/article/view/4387/10620>
- Espinoza-Canaza, F. (2019). Construcción y evaluación del funcionamiento de un prototipo de incubadora para usos múltiples, Chachapoyas, 2018. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales E Ingeniería*, 2(1), 26 - 32. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v2i1.444>
- Finca Casarejo. (2019). *Incubación: obtención de pollitas para puesta y de pollitos para carne*. <https://www.fincacasarejo.com/incubacion/incubacion-de-huevos>
- Gaspar, A. (2019). El método de incubación artificial en gallinas ponedoras.
- Hidalgo, J. S. V., Moposita, D. A. M., & Naveda, N. R. O. (2021). Parámetros productivos en la incubación de huevos considerados como no aptos procedentes de reproductoras pesadas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12), 488-503. <https://www.redalyc.org/journal/5768/576868967024/html/>
- Réaumur, R. A. (1974). *Art de faire éclore et d'élever en toute saison des oiseaux domestiques de toutes especes, soit par le moyen de la chaleur du fumier, soit par le moyen de celle du feu ordinaire*. Vol. 2. de l'imprimerie Royale.
- Jara Carrión, C. (2019). *Desarrollo de un equipo inteligente para controlar los parámetros de gestación en huevos de aves de corral*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12640>.

Microsoft Bing (s.f.). Progreso incubación embrión de pollo [Fotografía]. <https://shre.ink/9EOV>

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2023). *Foro Mundial sobre los Bosques: "Bosques y energía: Unidos por la acción por el clima"*. ONU. <https://webtv.un.org/es/asset/k11/k118bj2awt>.

Rodríguez Moya, J, & Cruz Bermúdez, A. (2017). Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 16-37 <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/28295>

Sembralia. (2021). *Tipos de incubadoras de huevos*. Grupo Cefetra. <https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-incubadoras-de-huevos>

Tienda Ganadera. (2023). *Incubadoras y consejos de incubación*. XCART. <http://www.tiendaganadera.com>

Zapata, M. (2024). Manejo de huevos fértiles de gallinas con incubadora artesanal. *INIA Divulga*, 28(28), 27-33. <http://publicaciones.inia.gob.ve/index.php/iniadivulga/article/view/883>

**Julia Patricia Melo Morín¹, Armando Hernández Machuca¹,
María de los Ángeles Ahumada Cervantes¹, Jesús Muñiz
Blanco¹, Eric Álvarez Baltierra¹**

121

Resumen

Actualmente el sector agrícola enfrenta efectos del cambio climático, la pérdida de recursos naturales, la falta de agua y el incremento de la población, por lo que la aplicación de las tecnologías de información y comunicación, ayudan a controlar tales efectos; el Internet de las cosas (IoT) en la agricultura ha permitido recopilar y analizar datos en tiempo real acerca de los cultivos para aplicar la tecnología 4.0, tales como el monitoreo ambiental o de cultivos, utilizando sensores en las áreas agrícolas, permitiendo así el riego inteligente, la fertilización inteligente y mejorar la calidad del suelo; para que los agricultores automaticen procesos, controlen sus cultivos y tomen decisiones informadas en datos, favoreciendo la eficiencia, productividad y sostenibilidad de las prácticas agrícolas. El propósito de esta investigación es describir una aplicación de IoT como caso de estudio en Pánuco Veracruz, definiendo la tecnología implementada, así como la arquitectura y modelos utilizados. Se describen las tecnologías involucradas en la Agricultura 4.0, las capas de la arquitectura de proyectos IoT, plataformas de hardware, tecnologías de comunicación, sensores y el diseño de sistemas inteligentes para la toma de decisiones. Se aplicaron plataformas de hardware de código abierto para diseñar el sistema IoT que permite la recolección de datos de cultivos, que se analizan y muestran resultados utilizando una aplicación que interactúa con los sensores y actuadores del sistema IoT diseñado, mostrando comportamiento y patrones identificados que permiten la toma de decisiones.

Palabras clave: Agricultura 4.0, arquitectura IoT, internet de las cosas, modelos IoT.

Introducción

La Agricultura 4.0, Agricultura Digital o *Smart Farming*, surge dentro del paradigma de la Industria 4.0, que define un proceso en las fábricas totalmente autónomo y optimizado, con una producción industrial interconectada (Corallo et al, 2018), es una evolución del concepto de agricultura de precisión, sobre los cambios en las revoluciones en la agricultura (Ojeda, 2022). El término de Agricultura 4.0 lo adoptó la Organización de las Naciones Unidas, definiéndolo como una agricultura que integra innovaciones tecnológicas como agricultura de precisión, IoT, Big Data, Cómputo en la nube e Inteligencia Artificial. La Figura 1, indica la relación entre la evolución de la Revolución Industrial y los cambios en la Agricultura, describiendo las principales características en cada etapa.



Figura 1. *Evolución de la Agricultura*

Nota: Adaptado de “Revoluciones Agrícolas” por Wandel (2021) y Dhanaraju et al. (2022).

Las tecnologías involucradas en la Agricultura 4.0 son:

- Internet de las Cosas (IoT). Es la conexión de una gran cantidad de sensores, dispositivos inteligentes y maquinaria agrícola, para recopilar y transferir datos en tiempo real a una red, en un entorno agrícola, datos como el clima, humedad del suelo, pH de la tierra, crecimiento de cultivos, etc.; permitiendo conectar, rastrear y administrar productos, sistemas y redes de forma remota (EC, 2021).
- Big Data. Es un término utilizado para indicar el volumen masivo de datos variados, que pueden ser capturados, analizados y utilizados para la toma de decisiones. El alcance de aplicaciones Big Data en la agricultura incluye desde la producción primaria, hasta toda la cadena de suministro de alimentos (Wolfert et al., 2017).
- Cómputo en la Nube. Es el uso de herramientas y aplicaciones que permiten el almacenamiento y procesamiento de datos en servidores remotos accedidos a través de Internet, los cuales pueden ser rápidamente asignados y provistos con un mínimo de gestión administrativa e interacción con el proveedor (Barnard, et al., 2016).
- Inteligencia Artificial (IA). El objetivo de la IA es el estudio de las máquinas, para percibir, razonar, aprender, comunicarse y actuar en entornos completos similar o mejor que los

humanos (Nilsson, 2001). La IA es aplicada en la agricultura con el uso de robots, monitoreo del suelo y cultivos.

- e) Drones. Los drones o vehículos autónomos son controlados de forma remota y siguen una línea de vuelo programada (Torres, 2013) y permiten mejorar la trazabilidad de los productos agrícolas.

La actividad agrícola beneficia el crecimiento de los países, permitiendo la reducción de pobreza, al aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria de las personas; pero, actualmente ha sido afectada por muchos factores como el cambio climático, la falta de lluvia y altas temperaturas.

En Pánuco Veracruz existe un clima con temperaturas muy altas y con poca cantidad de lluvia anualmente, y muchas cosechas han sido afectadas por esas situaciones. Este capítulo tiene como objetivo, describir la creación de un prototipo de implementación de IoT, como un caso de estudio que permite identificar algunos datos agrícolas, analizarlos y presentar resultados, para que pueda ser un referente para la implementación de servicios IoT en la zona de Pánuco, Veracruz México.

Materiales y métodos

El proceso metodológico implementado en esta investigación inicia con la problemática identificada en la zona en el área agrícola, posteriormente la determinación de elementos involucrados en la creación de prototipos IoT, identificando el entorno y los recursos disponibles; seguido de una comparación de posibles soluciones y el impacto de cada una de ellas, así como la identificación del análisis de datos necesarios y útiles; la fundamentación de cada uno de los elementos involucrados, basados en los modelos teóricos-prácticos y finalmente la realización de la propuesta de solución.

Un proyecto de IoT en la Agricultura 4.0 puede estar construido en diferentes capas, donde cada capa aísla una fase de otra. El caso de estudio del prototipo de IoT, representa una situación real de un área de cultivos en Pánuco Veracruz y la arquitectura implementada consta de tres capas: la capa de percepción, la capa de red y la capa de aplicación.

La capa de percepción incluye a los sensores, que deben estar conectados a una red y mediante los controladores recuperan la información de estos; los sensores funcionan con los actuadores, que permiten transformar la entrada eléctrica en una acción física (CISCO, 2011). Los sensores utilizados que recopilan datos en el entorno agrícola son la humedad del suelo, la temperatura, la conductividad eléctrica y el pH de la tierra; los actuadores permiten activar o desactivar el suministro de agua.

La capa de red es la capa de la conectividad, que involucra las tecnologías de comunicación utilizadas para transmitir los datos de los dispositivos (sensores) hasta las aplicaciones correspondientes, para su análisis. Esta capa utiliza la tecnología WiFi para la comunicación entre los sensores y las aplicaciones.

La capa de aplicación son las aplicaciones del usuario, que utilizan los datos para proporcionar a los usuarios finales alertas o recomendaciones a través de interfaces. En esta capa se desarrolló una aplicación Web, que muestra información del cultivo y análisis de los datos. La Figura 2, indica la vista de Negocio de la Arquitectura aplicada en el caso de estudio.

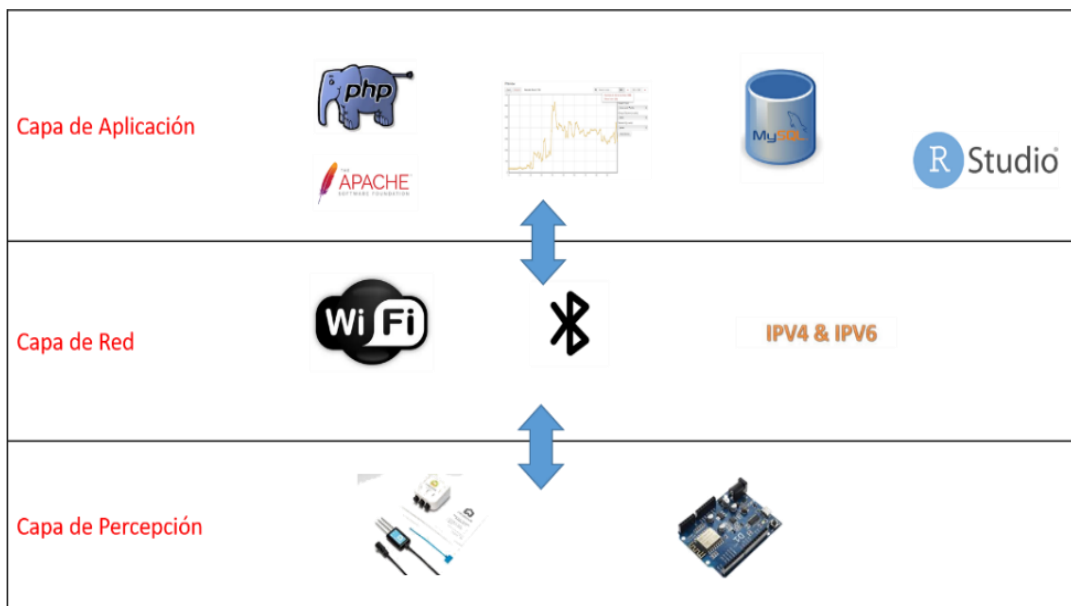


Figura 2. Vista de Negocio de la Arquitectura del prototipo IoT

Nota: Elaborada por los autores.

La Figura 3, muestra la vista funcional de la Arquitectura, describiendo los componentes e indicando las operaciones de cada capa.

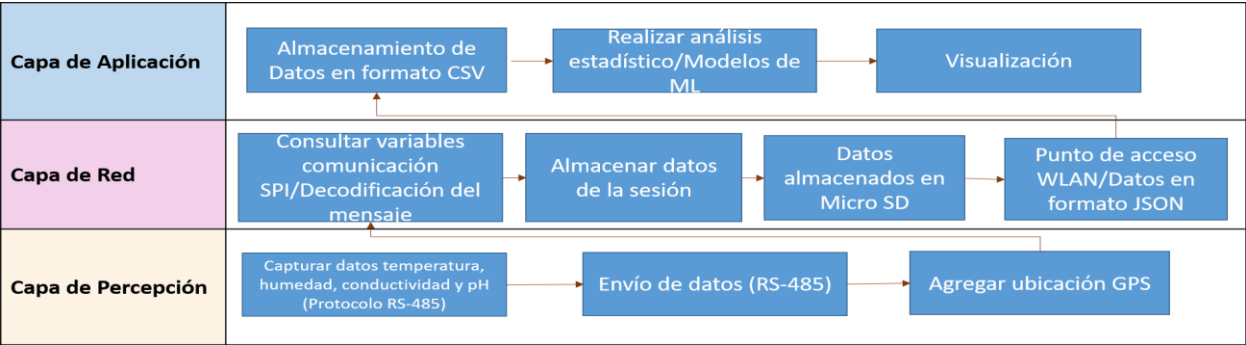


Figura 3. Vista Funcional de la Arquitectura del prototipo IoT

Nota: Elaborada por los autores.

En la Agricultura 4.0 las plataformas de hardware y software son esenciales para la solución de propuestas de IoT, la plataforma de hardware utilizada fue Arduino, por su bajo costo y facilidad de programación. La Figura 4, muestra la vista de implementación de la arquitectura, indicando los dispositivos, tecnologías y herramientas de hardware y software utilizadas.

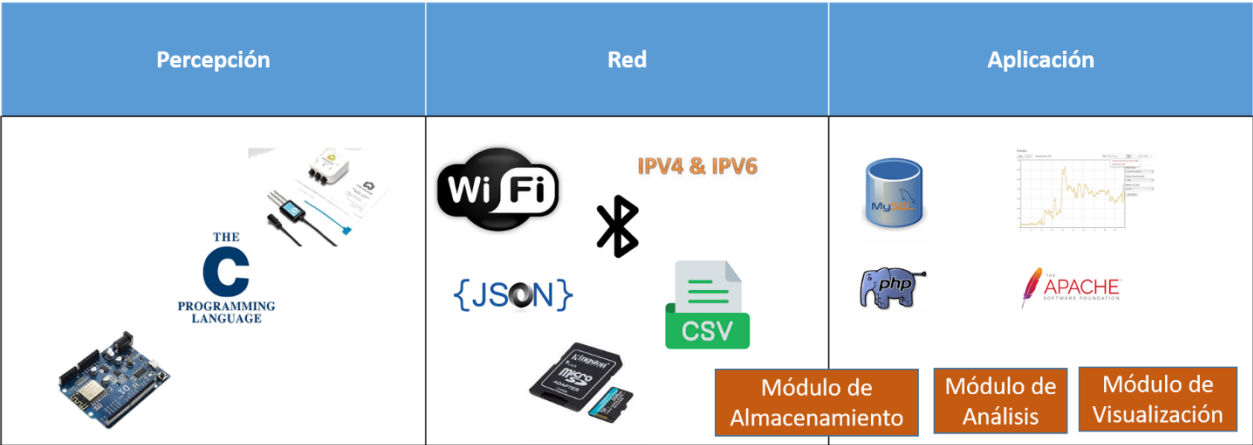


Figura 4. Vista de Implementación de la Arquitectura del prototipo IoT

Nota: Elaborada por los autores.

Los sensores utilizados son de *humedad del suelo*, para monitorear la humedad y así permitir optimizar el riego reduciendo el consumo de agua; sensores *climatológicos* como

temperatura y velocidad de viento, que le ayudan a los agricultores a entender el comportamiento de las condiciones ambientales y tomar decisiones informadas; y sensores de *nivel de nutrientes*, que ayudan a la aplicación eficiente de fertilizantes.

La tecnología de comunicación fue a través de una tecnología WiFi basado en el estándar IEEE802.11, considerando un rango de transmisión de 100 metros; así como Bluetooth con el estándar IEEE 802.15.1, con un rango de transmisión de 10 hasta 100 metros. Se desarrolló una aplicación Web que permite la visualización de los datos recuperados, así como el análisis de estos, para la obtención de información que permite la toma de decisiones; la aplicación fue creada utilizando el software de PHP como lenguaje de programación, con un servidor Web Apache y el SGBD de MySQL; para el análisis de datos se utilizó R Studio.

Resultados y discusión

El dominio principal del prototipo creado de IoT para la Agricultura 4.0 fue el monitoreo, que incluye tareas de monitorización del clima, agua, suelo o cultivos. La Figura 5, muestra el proceso de extracción de datos de los sensores, el proceso de integración y limpieza, para la aplicación de técnicas de aprendizaje automático, que generen modelos inteligentes que apoyen a la toma de decisiones en la agricultura.

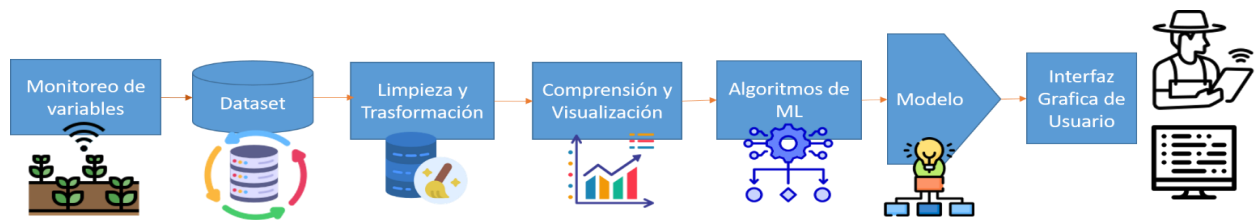


Figura 5. *Proceso general de Aprendizaje Automático en la Agricultura.*

Nota: Elaborada por los autores.

El funcionamiento del prototipo desarrollado realiza principalmente las siguientes tareas: se recopilan los datos de las variables agrícolas y se envían mediante el protocolo RS485, se añade la ubicación GPS de estos, y son recuperados vía WiFi, transformándose los datos en formato JSON y CSV para sus análisis estadístico y aplicación de modelos de Aprendizaje Automático, que

permita la visualización de resultados mediante una aplicación Web. La Figura 6, muestra el proceso general del prototipo.

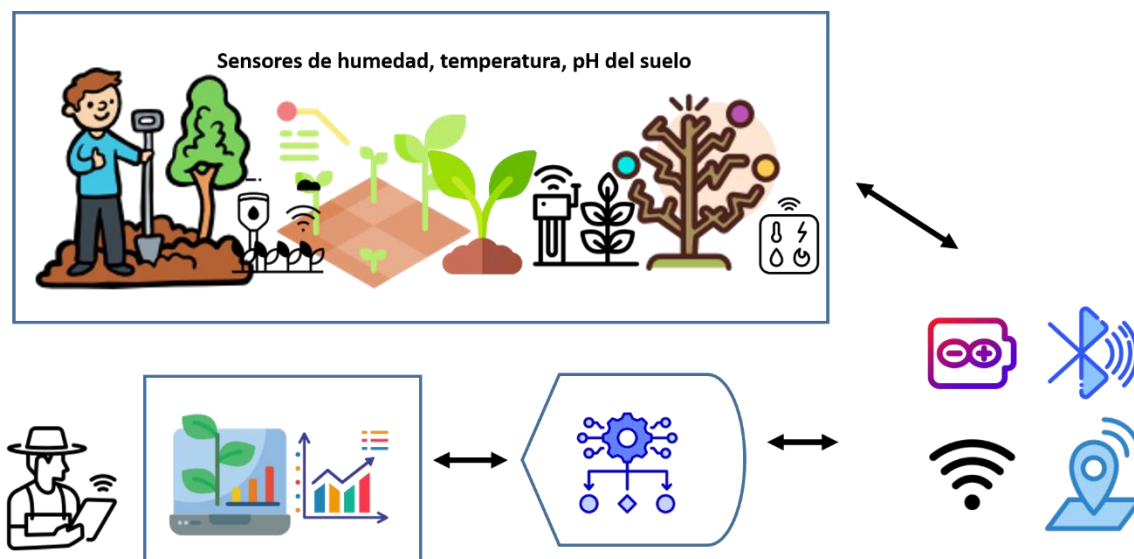


Figura 6. *Funcionamiento del prototipo*

Nota: Elaborada por los autores.

La aplicación Web permite visualizar los datos de los sensores, mostrando los valores identificados, así como resultados del análisis y procesamiento de los datos, que permita la toma de decisiones a los agricultores. La Figura 7, muestra la interfaz de la aplicación desarrollada.

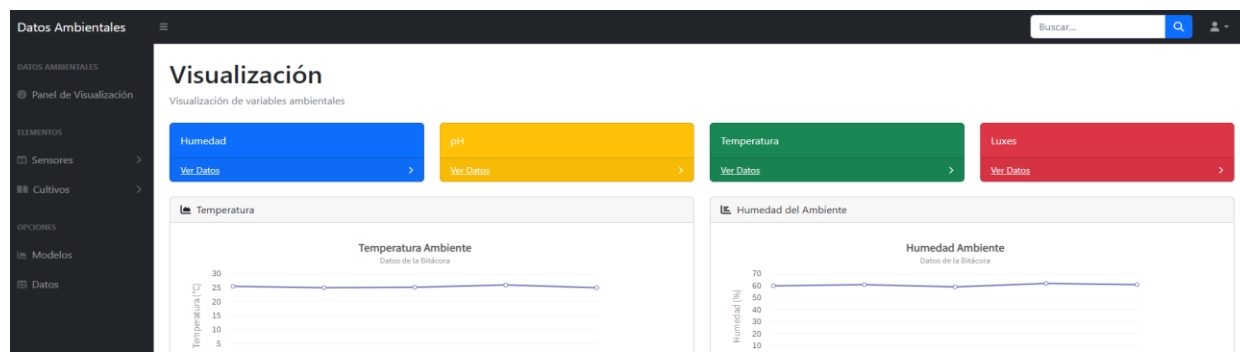


Figura 7. *Interfaz de la Aplicación del prototipo IoT*

Nota: Ejecución de Aplicación Web diseñada.

Es posible la visualización histórica de los datos, como se muestra en la Figura 8.

Visualización

Visualización de variables ambientales

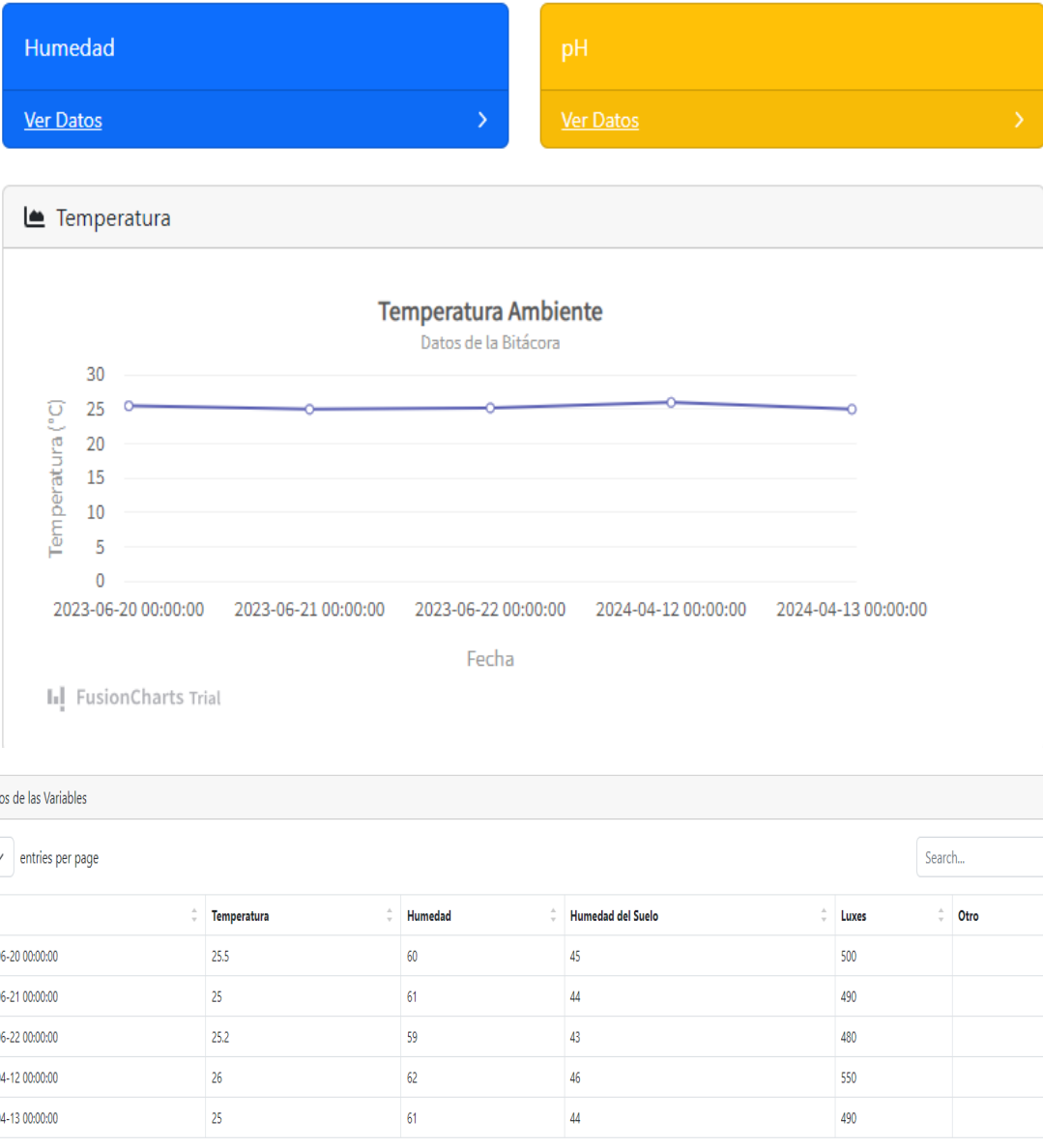


Figura 8. Visualización histórica de los datos registrados

Nota: Ejecución de Aplicación Web diseñada.

El dispositivo IoT identifica datos de temperatura y humedad del suelo, la Figura 9 muestra el resumen de los datos identificados para el caso de prueba, de un periodo de tres meses.

— Data Summary —

Name

Number of rows

Number of columns

Values

Agricultura

40

5

Column type frequency:

difftime

factor

numeric

1

1

3

Group variables

None

— Variable type: difftime —

skim_variable

n_missing

complete_rate

min

max

median

n_unique

1 hora

0

1

37810 secs

59548 secs

58526 secs

40

— Variable type: factor —

skim_variable

n_missing

complete_rate

ordered

n_unique

top_counts

1 fecha

0

1

FALSE

21

04/: 20, 01/: 1, 05/: 1, 05/: 1

— Variable type: numeric —

skim_variable

n_missing

complete_rate

mean

sd

p0

p25

p50

p75

p100

hist

1 id

0

1

256.

11.7

236

246.

256.

265.

275

2 temperature

0

1

28.5

2.04

20.5

28.5

28.6

28.9

31.9

3 humidity

0

1

63.7

7.62

53

55.8

67

70

76

Figura 9. Resumen de los datos identificados por el prototipo IOT
Nota: Elaborada por los autores.

La distribución de cada una de las variables principales de Temperatura y Humedad, se presentan en la Figura 10, indicando la densidad de cada elemento.

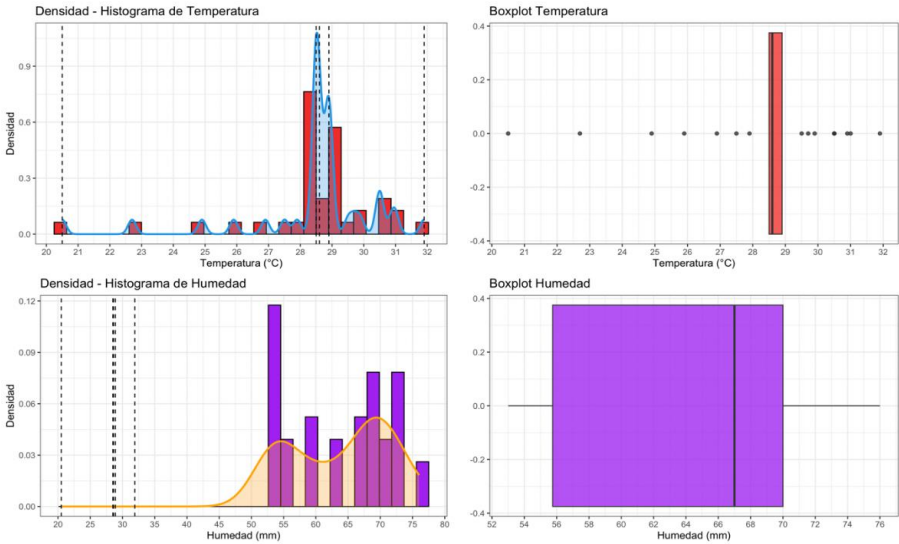


Figura 10. Graficas de densidad de las variables de temperatura y humedad
Nota: Elaborada por los autores.

Se realizó un análisis clúster con un valor de $K = 7$, de acuerdo con el método de Elbow Method, que calcula la distorsión promedio de los clústeres al aplicar el algoritmo K-means, y la distribución de los datos en cada clúster se muestra en la Figura 11.

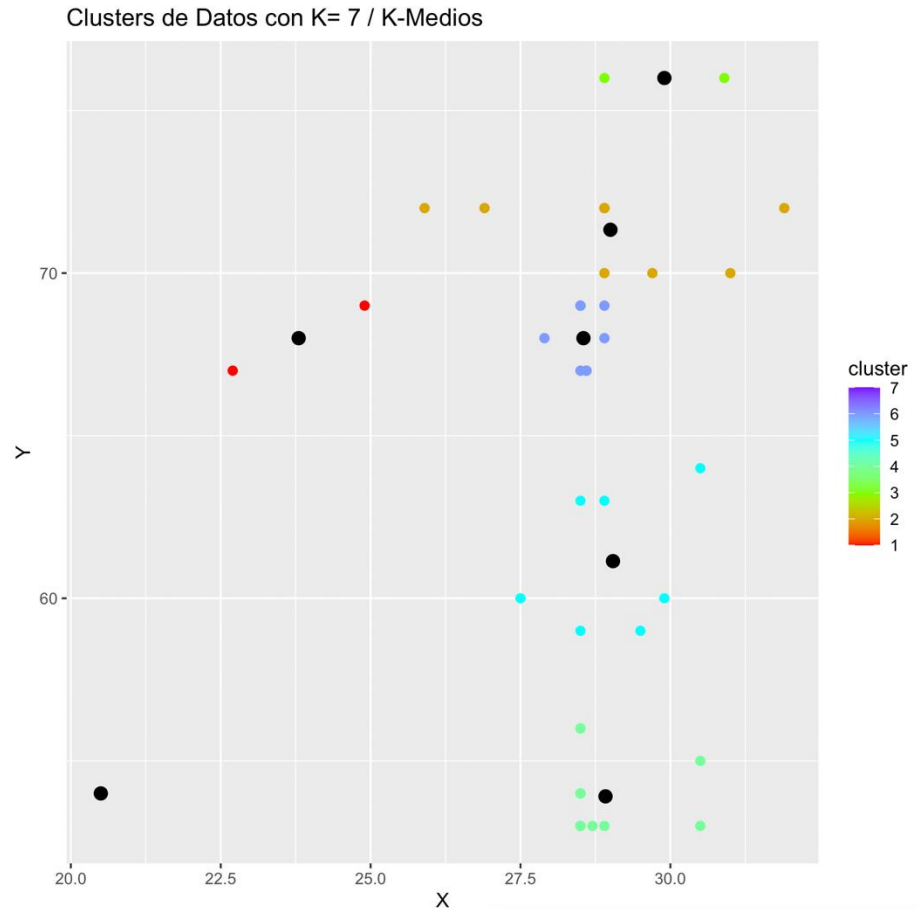


Figura 11. Agrupación de los datos en cada clúster

Nota: Elaborada por los autores.

Conclusión

El cambio climático y las altas temperaturas desencadenan los sistemas productivos de una región, por lo que el surgimiento de nuevas tecnologías da origen a la aplicación de actividades que permitan una agricultura sostenible utilizando al máximo los recursos naturales, creando una agricultura de precisión con una distribución de la cantidad correcta de insumos, dependiendo del potencial y de la necesidad de cada punto de las áreas de estudio, partiendo de la recolección de datos, el procesamiento e interpretación de la información y la aplicación de insumos correspondientes.

Este estudio presenta un ejemplo del desarrollo de una propuesta de IoT en la Agricultura en la zona de Pánuco Veracruz, describiendo cada una de las capas del prototipo, los modelos, la tecnología utilizada y el diseño de sistemas inteligentes para la toma de decisiones, permitiendo así a las instituciones educativas ser un factor de cambio en las problemáticas de la región donde se encuentra su zona de influencia.

Todavía queda mucho camino que realizar y mejorar, pero es de gran importancia aplicar soluciones de este tipo no solo a la agricultura, sino a otros procesos donde la Industria 4.0 apoye a la toma de decisiones basadas en datos de las empresas, desarrollando proyectos que involucren el IoT, el Big Data, Cómputo en la nube, la IA y el uso de drones.

Referencias

- Barnard, A., Delgado, A., & Voutssás, J. (2016). *Introducción al cómputo en la nube*. ICA/InterPARES.
- CISCO (2011). *Internet de las cosas. Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Informe técnico de Cisco Internet Business Solutions Group. https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf
- Corallo, A., Latino, M. E., & Menegoli, M. (2018). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: a framework to manage product data in agri-food supply chain for voluntary traceability. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 12(5). 126-130 <https://elk.adalidda.com/2019/01/10008961.pdf>
- Dhanaraju, M.; Chenniappan, P.; Ramalingam, K.; Pazhanivelan, S.; Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), 1-26. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- EC (2021). *European Commission Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs Advanced Technologies for Industry*. ATI. <https://ati.ec.europa.eu/technologies/Internet-things>
- Nilsson, N. (2001). *Inteligencia artificial: una nueva síntesis*. McGraw-Hill.
- Ojeda B., A. (2022). Plataformas Tecnológicas en la Agricultura 4.0: una Mirada al Desarrollo en Colombia. *CESTA*, 3(1), 9–18. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02>

- Torres-Sánchez, J. P. (2013). *Puesta a punto de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para detección de malas hierbas en fase temprana: resolución especial y altura de vuelo* (pp. 43-47). XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, Valencia-España
- Wandel, M. (2021). *Nuevas Tecnologías y Agricultura 4.0: Impacto en los recursos humano de la industria agrícola en Centroamérica* [Tesis de grado, Universidad Pontificia Comillas]. Repositorio Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/46846>
- Wolfert, S., Ge L., Verdouw C., & Bogaardt M-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review, *Agricultural Systems*, 153, 69-80, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

**Nancy Domínguez González¹, Daniel Serna Poot²,
Fernando Naranjo Chacón¹**

²Facultad de Música, Universidad Veracruzana

Resumen

Los procesos de gestión ambiental para la sustentabilidad requieren el empleo de tecnologías de comunicación apropiadas para los grupos sociales a los que se dirigen, para favorecer el aprendizaje y la adquisición de conocimientos de quienes atienden directamente a una problemática ambiental determinada que atenta contra la sustentabilidad. Con el objetivo de construir un estado del arte sobre las tecnologías que se emplean en procesos de comunicación educativa ambiental, se describe una investigación documental sobre el análisis de la aplicación de las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) e Inteligencia Artificial Generativa en proyectos de la maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana, en los que se han empleado diferentes recursos tecnológicos para conducir procesos de educación ambiental y se han aplicado tecnologías para la comunicación de la ciencia a los grupos de interés, a pares y a la sociedad en general. Cada proyecto emplea TAC conforme a las características de la población objetivo, a los objetivos de la comunicación para la sustentabilidad y a los recursos disponibles para su producción. El resultado del análisis presenta un abanico de posibilidades para considerar en la creación de proyectos que busquen la solución de problemas ambientales en pro de la sustentabilidad.

Palabras clave: Educación ambiental, comunicación, IA generativa, producción multimedia, TIC.

Introducción

En la actualidad, las tecnologías de la información han permeado a casi todos los ámbitos de la vida, la educación superior no es la excepción. El acceso a internet y la producción multimedia digital han transformado radicalmente la forma como los estudiantes aprenden y los docentes enseñan. Las Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en la educación ofrecen posibilidades para producir material educativo dinámico, colaboración en proyectos, desarrollar habilidades digitales esenciales para el mercado laboral y crear experiencias de aprendizaje más eficaces y personalizadas. La integración efectiva de las tecnologías en la educación superior se ha vuelto indispensable para la formación integral de profesionales competentes y capaces de enfrentar los desafíos de un mundo cada vez más conectado. Asimismo, la inteligencia artificial generativa se emplea en un conjunto de herramientas que permiten generar contenidos digitales

en texto, imagen, audio y otros medios en respuesta de ideas detonadoras que pueden abordar problemáticas de índole ambiental con una gran versatilidad.

Antecedentes: Evolución del concepto: Del TIC al TAC y al TOC

Los conceptos relacionados con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han tenido una evolución casi inmediata desde su aparición. Hoy en día, estos conceptos han generado planteamientos como las de Piñero-Virué et al (2022, p. 86), quienes cuestionan en su investigación “¿Qué son las TIC? ¿Qué son las TAC? ¿Qué son las TOC?”.

En el ámbito lúdico, el concepto de TIC, TAC, TOC es un término que refiere al juego de estrategia en lápiz y papel, conocido también como juego del gato o tres en línea, tres en raya o ceros y equis. Este mismo concepto hoy en día se encuentra considerado dentro de las tecnologías educativas como un término mnemotécnico para referirse a las distintas clasificaciones de las tecnologías en la educación.

Las TIC

El concepto de Tecnologías de Información y la Comunicación (ICT, por sus siglas en inglés) se entiende como un concepto dinámico y en constante evolución, que sustituye el concepto de “Nuevas tecnologías” (Markus y Robey, 1988). Este concepto hoy es omnipresente y engloba a las distintas tecnologías y protocolos para recibir y enviar información que lleven a la comunicación. Es tan amplio que incluye telecomunicaciones unificadas, redes, sistemas satelitales y su hardware, que evoluciona constantemente, como las computadoras, televisiones inteligentes o los dispositivos de telefonía celular (Serna-Poot, 2021).

Las TAC

El uso de las TIC no necesariamente nos lleva a pensar en un uso educativo (Muñoz 2008, como se citó en Pariente-Fragoso y Perochena-González, 2013). Las Tecnologías para el Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) son definidas como “todos aquellos recursos digitales orientados a la enseñanza que fomentan el aprendizaje tanto para el docente, que estudiará y seleccionará aquellas herramientas digitales más adecuadas para su uso en el aula, como para el alumno” (APPF, 2021, párr. 4).

Las TAC permiten a los docentes y a los estudiantes crear material didáctico, así como desarrollar sus habilidades creativas. Algunos ejemplos de uso de las TAC pueden ser el uso de presentaciones Prezi[®], Microsoft PowerPoint[®], Sway, Genially[®] o ejercicios educativos con Hot Potatoes[®] (APPF, 2021). Al integrar herramientas digitales en los procesos de enseñanza-aprendizaje, se potencia la adquisición de conocimientos de manera más dinámica y personalizada, fomentando la curiosidad y el pensamiento crítico. La formación axiológica se enriquece al permitir el acceso a una amplia gama de perspectivas y valores culturales, mientras que el eje heurístico se desarrolla a través de la experimentación y la resolución de problemas en entornos virtuales, en un entorno de aprendizaje flexible y colaborativo que promueve el desarrollo integral de los estudiantes.

El uso de las TAC debe favorecer la formación de competencias profesionales, que incluyen ejes de formación teórica, heurística y axiológica o como definieron Pariente-Fragoso y Parochena-González “conceptos, procedimientos y actitudes” (2013, p. 197). Es en esta formación integral en la que inciden la formación humanística e integral, con la finalidad de un impacto social positivo.

Las TOC

Las TOC se han definido como “Tecnologías Online Colaborativas” (Piñero-Virué et al., 2022, p. 1) que “fomentan el aprendizaje colaborativo por medio de intervenciones pedagógicas diseñadas en la red” (Aliaga-Aguza, 2022, párr. 4). Las Tecnologías Online Colaborativas (TOC) se pueden entender como un conjunto de herramientas y plataformas digitales que permiten a personas ubicadas en diferentes lugares trabajar de manera conjunta en proyectos, compartir información, ideas y recursos, y construir conocimiento de forma colectiva. Estas tecnologías influyen en la forma en que nos comunicamos, colaboramos y aprendemos, facilitando la interacción y la producción de contenido en tiempo real.

Algunos ejemplos de tecnologías colaborativas que se podrían tomar en cuenta dentro de este análisis son:

- Microsoft 365: Es una suite de software propietarios, propiedad de Microsoft[®], similar a Google Workspace, con herramientas como Microsoft Word, Excel, PowerPoint, Forms, Teams, OneNote, SharePoint y OneDrive entre otros. Esta suite está actualmente se

encuentra dentro del licenciamiento para académicos y estudiantes de la Universidad Veracruzana (Peralta-Vázquez, 2017).

- Google Workspace: Es una suite de herramientas que incluye Gmail, Google Drive, Google Docs, Google Sheets y Google Slides, que permiten la colaboración en documentos, hojas de cálculo y presentaciones de manera gratuita.

Respecto al uso de tecnologías en la educación, según la Universidad Veracruzana (2023, párr. 6, como se citó en Tapia et al 2023), “el ambiente educativo debe considerar lo siguiente:

- La apropiación de las TIC, TAC y TOC como socio cognitivo.
- Las prácticas educativas relacionadas con la experiencia educativa, disciplina y currículum.
- La construcción de aprendizaje en diferentes representaciones digitales (escrita, audio, imagen, multimedia, hipertextual, hipermedia, entre otros, hiper, códigos o sistemas) que muestren los saberes que exige el currículum.
- La permanente comunicación entre los participantes.
- Las tecnologías empleadas son acordes con el contexto institucional.
- El acceso a la información y conocimiento globalizado a través de Internet.
- La organización de tiempos y espacios acorde con los periodos escolares.” (Tapia et al., 2023, p. 4).

Inteligencia Artificial Generativa

Con respecto a la Inteligencia Artificial (IA), Lanxon et al. (2023) mencionan que se entiende como un sistema capaz de generar texto, imágenes, audio y otros medios o como define Casar-Corredera (2023) es “ese tipo de inteligencia capaz de generar contenidos, emulando lo que produciría un creador humano” (Casar Corredera, 2023, p. 1). Dos de los sistemas de Inteligencia Artificial Generativa (IAG) más conocidos en la actualidad son ChatGP[®] de la empresa Open AI y Gemini[®] de Google Corporation. Algunos sistemas de IAG pueden generar texto, código de programación, imágenes, música y video.

En la actualidad, las tecnologías han evolucionado a los proyectos educativos de gestión ambiental a nivel superior, facilitando la creación, la investigación, la colaboración y la difusión de conocimientos. Además, estas tecnologías pueden fomentar la interacción y el intercambio de ideas entre estudiantes de diferentes grados y de otras universidades, promoviendo la construcción de comunidades de aprendizaje en torno a problemáticas ambientales globales, mientras que el aprendizaje basado en proyectos como documenta Archila-Segade (2024), pueden fomentar el desarrollo de habilidades prácticas y la resolución de problemas reales mediante el uso de herramientas digitales y “metodologías educativas activas” (Archila-Segade, 2024, p. 2).

Sobre sustentabilidad

Con respecto a la sustentabilidad, la definición aceptada se refiere a la capacidad de un grupo social de satisfacer sus necesidades actuales sin afectar las posibilidades de las generaciones futuras para atender las suyas y para ello se considera imperante atender el eje económico, el social y el ambiental (Forsyth et al., 2016). Así surge la interrogante sobre ¿cuál es el papel de las tecnologías de la información en la búsqueda de la sustentabilidad? Este concepto se refiere al equilibrio que debe existir entre las necesidades de recursos de las personas y el ambiente para asegurar la subsistencia de la vida, idea que en un primer acercamiento parece alejado de TIC.

En este sentido, el equilibrio mencionado sólo se puede lograr en la medida de hacer uso de los recursos digitales de manera consciente, lo cual implica tener conocimiento de lo que conlleva para el ambiente natural el empleo de un elemento determinado o la producción de un bien. Por tanto, la educación ambiental es indispensable para llegar a ese punto de conocimiento que ayude a tomar decisiones conscientes e inteligentes para lograr dicho equilibrio, ya que busca formar a las personas los conocimientos, valores, habilidades y actitudes para la vida armónica con su ambiente y cultura (Orgaz-Agüera, 2018).

La educación ambiental se vale de las tecnologías para comunicar y socializar conocimientos sobre el ambiente y sobre las acciones que conviene y no conviene realizar para preservar o restaurar su salud. Por las ventajas que tienen estas herramientas (Solórzano-Barberán, 2021), se pueden representar realidades complejas a través de medios diversos como audio, imagen y video, de tal suerte que sea posible para una persona que vive en la ciudad comprender cómo es la vida en la selva, por ejemplo, y comprender las implicaciones que sus

acciones tienen en la vida en estos entornos, como el uso productos que atentan contra la vida silvestre tanto vegetal como animal. Estas realidades complejas serían muy difíciles de describir únicamente con el discurso. En el momento que usamos las TIC para educar entonces se convierten en tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento (TAC), migrando de una visión lineal que sólo informa sobre un evento o proceso, a una visión multidimensional que busca favorecer procesos de aprendizaje donde quien recibe la información aprenda y reflexione sobre las implicaciones que sus acciones tienen en un contexto determinado, logrando así aprendizajes significativos, aumentado el acervo de conocimiento que se tiene sobre un tema y sobre todo dando la base para la acción certera (Domínguez- González et al., 2021; González-González et al., 2020).

Un concepto interesante en este tema es la gestión ambiental, que es una disciplina que integra saberes de ciencias como la biología, ecología, sociología, psicología y economía entre otras, y se enfoca en generar proyectos para conducir acciones tendientes a cuidar el ambiente para su preservación o incluso su restauración en zonas donde la incidencia de acciones antrópicas amenace la salud del ambiente (Muriel, 2006). La gestión sirve para educar en estos temas y sensibilizar a las personas sobre la relevancia de sus acciones para atender problemáticas generadas por ellos mismos o por procesos naturales en el ambiente como alteraciones climáticas, fenómenos meteorológicos o en la evolución de especies vegetales y animales.

Sobre todo, la gestión ambiental busca motivar a la acción vinculando actores clave que pueden ser: sociedad en general, academia, instituciones, iniciativa privada, asociaciones y gobierno a todos los niveles, para la generación de soluciones a los problemas ambientales que se viven en determinado lugar y que atentan contra la sustentabilidad. Es importante destacar que busca la generación de soluciones horizontales empleando métodos participativos, donde los involucrados generen ideas de cómo atender una problemática desde su visión, intereses, posibilidades y recursos, esto para potencializar la posibilidad de apropiamiento de las acciones que promueven los proyectos.

Objetivo

- Construir un estado del arte sobre las tecnologías que se emplean en procesos de comunicación educativa ambiental, a través de una investigación documental sobre el análisis de la aplicación de las tecnologías del aprendizaje y el conocimiento (TAC) e Inteligencia Artificial Generativa en proyectos de la maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana.

Método de estudio

En toda investigación, sin importar su tipología y enfoque, se parte de la construcción del estado del arte, que se refiere a construir un marco de conocimiento sobre lo que se sabe de un tema determinado, lo que aporta una base indispensable para saber cómo se ha abordado el tema desde diferentes miradas y perspectivas, y también las tendencias que existen sobre el tema (Londoño-Palacio et al., 2016). Con este punto de partida, se genera el esquema a seguir en una investigación desde una visión crítica de lo realizado, ya sea para evitar replicar esfuerzos o bien confirmar procesos y hallazgos.

En una revisión bibliométrica con la base de datos Dimensions ® acerca de la gestión ambiental y el uso de tecnologías, se encontraron cerca de 60,981 publicaciones relacionadas, mismas que se agruparon en cinco grandes categorías, que tienen que ver con Sociedad humana; Comercio, gestión y turismo; Ciencias ambientales; Educación; y Derechos y estudios jurídicos. Como proponen Archilla-Segade y Torres-Pascual et al. (2024; 2020) y mediante el uso del software de mapeo bibliométrico VosViewer © se pudo observar que un gran número de publicaciones sobre el tema de Gestión ambiental y uso de diversas tecnologías, se originan en España desde 2017, seguidamente de Colombia y México en 2018 y 2019 respectivamente (Figura 1).

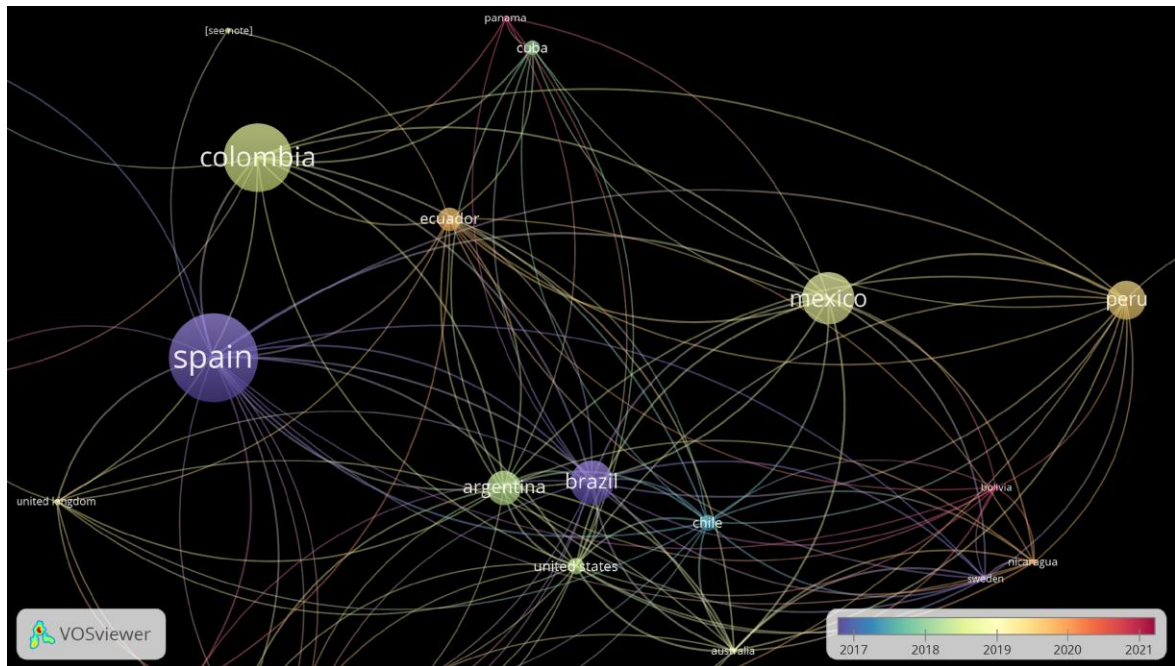


Figura 1. *Índice de publicaciones sobre Gestión Ambiental por país, por año*
Fuente: elaboración propia.

Aunque la construcción del estado de la arte es la primera etapa de una investigación, se considera por sí misma un método de investigación de corte bibliográfico cualitativo que, como en el estudio que se presenta, permite analizar el proceso investigativo de diferentes fuentes, ofreciendo como resultado la síntesis de lo conocido sobre un tema y los patrones y tendencias que se observan en las fuentes de consulta, lo que permite llegar a conclusiones sobre el tema (Londoño-Palacio et al., 2016). Por esta razón la construcción del estado del arte es el método seguido para el análisis de los trabajos recepcionales en gestión ambiental para la sustentabilidad, que forman el acervo para analizar la aplicación de las TAC como herramientas para promover la sustentabilidad en los entornos donde éstos se desarrollaron.

Un primer acercamiento a este acervo, se puede consultar en el artículo “Contribución a la gestión ambiental para la sustentabilidad desde el posgrado” (Domínguez-González et al., 2024) que muestra una síntesis de las temáticas tratadas en los proyectos desarrollados en la Maestría en Gestión Ambiental para la Sustentabilidad de la Universidad Veracruzana, sus áreas de enfoque como: manejo del agua, manejo de residuos sólidos, conservación de bosques, proyectos productivos responsables con el ambiente y fortalecimiento de capacidades para la vida

sustentable; además de los sitios donde se han implementado principalmente en el estado de Veracruz y en estados como Puebla, Oaxaca y Chiapas; y finalmente los grupos sociales atendidos. Estos proyectos emplean como herramientas fundamentales la educación ambiental y la comunicación de información ambiental. Por tanto, se consideran pertinentes para presentar un panorama de la forma en que las TAC son empleadas para favorecer la sustentabilidad.

El componente social de los proyectos de gestión ambiental hace que sea conveniente emplear métodos participativos de investigación y acción, a fin de involucrar a las personas del grupo objetivo en todo el proceso, desde el diagnóstico inicial hasta la concreción de las acciones necesarias para atender la problemática socioambiental existente. Como parte del proceso se establece una estrategia de comunicación educativa, para definirla en cada proyecto se parte de cuatro premisas a desarrollar (Figura 2), de tal forma que se logre la adaptación a las condiciones, intereses y contexto de los grupos atendidos, en algunos casos cada proyecto atiende a más de un grupo social, por lo que la estrategia debe enfocarse por separado en cada grupo.



Figura 2. Estrategias de Comunicación Educativa
Fuente: elaboración propia.

Características de la población objetivo

Se refiere al análisis de las características y necesidades de la población objetivo en cuanto a edad, escolaridad, recursos de comunicación disponibles y preferidos, y también por sus preferencias

para recibir información y socializar sus ideas y aprendizajes, ya que con esta base se puede proyectar cuales son las opciones en tecnologías viables conducir procesos de enseñanza aprendizaje.

Naturaleza del contenido a comunicar

Se refiere a la consideración del tipo de contenido a emplear como recurso educativo, pues no todo el contenido se puede presentar eficazmente a través del mismo tipo de medio, es decir hay información que puede presentarse como texto, otros contenidos se comprenden mejor en forma de audio o de imagen y hay otros contenidos más complejos que se comprenden mejor con una combinación de medios como el video. Por ejemplo, en el caso de mostrar las leyes que fundamentan la constitución de un Área Natural Protegida (ANP), el texto es suficiente, pero si queremos mostrar la complejidad de los ecosistemas de un ANP determinada, es mejor presentarlos en forma de video.

El objetivo de la comunicación educativa

Esta premisa hace referencia al propósito por el cual se produce algún recurso para favorecer el proceso de aprendizaje, es decir, se requiere contextualizar sobre un entorno o proceso, o bien se requiere que se comprenda las implicaciones de las acciones que se realizan sobre el mismo objeto de estudio o se requiere involucrarse a fondo con ese contenido para generar opinión e involucramiento; dependiendo del objetivo la estrategia deberá contemplar la creación de recursos para el aprendizaje adecuados.

Recursos disponibles para la producción

La parte final del proceso de creación de recursos para comunicación educativa, se enfoca en adecuar dicha producción a los recursos que dentro del proyecto de gestión ambiental se tengan para producir que implica primeramente competencias específicas en diseño instruccional para producción gráfica y audiovisual, también de recursos materiales como equipo de cómputo, cámaras, micrófonos, servicios de almacenamiento en línea además de software específico, y se debe considerar el tiempo disponible para la producción.

Resultados del análisis de información

Para responder a la pregunta que postula el presente capítulo, se retoma el concepto de TAC que son todos aquellos recursos y materiales digitales que se utilizan para enriquecer el aprendizaje de las personas. En el contexto que se describe, es pertinente ver la aplicación de las TAC desde dos frentes: el del usuario final que recibe el recurso con fines de aprendizaje sobre sustentabilidad y también desde el del gestor ambiental que produce los recursos para ser empleados en procesos de educación ambiental. Para ello, se presentan los recursos de comunicación educativa desarrollados en los proyectos del estudio de caso y las TAC empleadas en su producción y/o consumo, así como las implicaciones que tienen para la formación en la sustentabilidad del usuario final.

Gráfica

Este es el tipo de recurso más empleado en los proyectos de gestión ambiental, se refiere a carteles, infografías, trípticos, publicaciones periódicas o bien juegos educativos, son el material básico para los procesos de educación ambiental; en ellos se explican conceptos, relaciones y procesos; se busca que tengan el texto lo más sintético posible, empleando un lenguaje claro y puntual evitando terminología científica que no sea indispensable, esto es para que sea accesible a todas las personas dado que frecuentemente se trabaja con personas con escasa o nula escolaridad. La imagen debe tener un lugar preponderante y se trata de que explique la idea general enseñada, es también importante que la imagen represente el lugar donde se trabaja para que las personas se vean reflejados en el material gráfico y genere un sentido de apropiación de los contenidos.

Si los procesos de educación ambiental se dan presencialmente, el usuario final no usa TAC al momento de la instrucción, pero si los materiales se usan por redes sociales o por telefonía celular, si emplea TAC. El gestor ambiental sí emplea TAC para su creación como software de edición de imagen, software para diseño gráfico que puede ser de acceso libre como Genially®, Canva®, Picmonkey®, Gimp® o de pago como toda la suite de Adobe®.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la producción gráfica

Ventajas	Desventajas
✓ Es relativamente fácil de crear y de usar. ✓ Es accesible de manera directa mediante impresos o de manera digital mediante el uso de internet o telefonía. ✓ El costo que implica desarrollarlos es bajo especialmente si se usa software libre. ✓ El costo de emplearlos, aún si se usa internet o telefonía, es bajo también porque son archivos de tamaños pequeños que no consumen muchos recursos para su. descarga. ✓ Son los recursos que quedan como material de referencia para el usuario final.	✓ Son estáticos, es decir no pueden emplearse por mucho tiempo y sirven principalmente para el momento de instrucción, pues el usuario final no puede interactuar con ellos directamente, sólo a través del proceso de instrucción mediada por el gestor. ✓ La cantidad de información visual y textual que se puede presentar es escasa. ✓ Si se imprimen generan residuos.

Fuente: Elaboración propia.

Los siguientes ejemplos (Figura 3) se refieren a producción gráfica de un proyecto de gestión ambiental cuyo objetivo era agrupar esfuerzos en torno a la agroecología en la zona de Xalapa (Menchaca-Pardow, 2024).



Figura 3. Boletín Guanacaxtle e infografía sobre conexión agroecológica
Fuente: Antonio Menchaca Pardow.

Audio

Este medio de presentar información no se usa directamente en los procesos de instrucción, suele ser complemento de imagen en movimiento en forma de video, aunque existen comunidades donde se emplea el audio directamente en forma de perifoneo o a través de radiodifusoras locales o comunitarias. En la producción de estos recursos se busca generar mensajes cortos, claros y enfáticos sobre el tema a comunicar, de ser posible acompañados con música típica de cada lugar, ya sea tradicional o comercial. El usuario final emplea TAC si estos audios se transmiten por telefonía; el gestor ambiental si emplea TAC a manera de software de edición de audio que puede ser libre como Audacity[®] Ardour[®], Reaper[®] o de pago como Protools[®] o Adobe Audition[®].

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la producción de audio

Ventajas	Desventajas
✓ Es fácil de crear. ✓ Permite la comunicación educativa de conceptos o ideas de manera continuada para que permee en la comunidad. ✓ El costo que implica desarrollarlos es bajo, especialmente si se usa software libre. ✓ El costo de emplearlos es muy bajo. ✓ No requiere del usuario final saber leer o escribir.	✓ Su difusión depende de la disponibilidad de equipos para perifoneo, ✓ Solo son útiles en comunidades pequeñas. ✓ La cantidad de información que presentan es muy limitada en caso de perifoneo. ✓ En el caso de radio, la cantidad de información que se puede comunicar es mayor, pero se depende de la difusora y sus tiempos y costos.

Fuente: Elaboración propia.

Video

En los proyectos de gestión ambiental se usa este tipo de recurso de comunicación educativa, aunque es más complejo ya que demanda la creación de imagen fija o en movimiento y de audio, lo que requiere competencias más avanzadas; pero se emplea porque permite al usuario visualizar realidades complejas y adentrarse al análisis de una situación o aprendizaje de algún proceso. Dentro del video se puede emplear el formato de documental, que refleja una realidad desde la mirada de quien lo produce con la conjunción de opiniones diversas sobre el tema; el formato de entrevista que permite recuperar la experiencia de alguna persona sobre un tema o situación determinada; el formato de video instruccional que enseña paso a paso cómo realizar un proceso, lo cual es muy útil en el caso en la implementación de ecotecnias o en el desarrollo de proyectos

productivos y también el formato de promocional, en el caso de querer involucrar a un grupo determinado en un proyecto de educación ambiental.

Se busca que los recursos de comunicación educativa de esta naturaleza se presenten en un lenguaje claro, correcto, adecuado a la población y al tema; además que la imagen sea contextualizada en el sitio del proyecto para que las personas vean reflejadas en el video su contexto y cultura, adicionalmente que el mensaje en general sea claro y contundente. Para producir este tipo de material es necesario tener competencias para crear fotografía, imagen en movimiento y audio, adicionalmente se requiere también diseño gráfico y la edición de todos los elementos dando sentido al discurso a presentar. Así mismo, es importante contar con equipos como cámara, micrófono, cómputo y software de edición de video que puede ser libre como OpenShot®, DaVinci Resolve® o de pago como Adobe Premiere® o FinalCut®.

En el caso de los proyectos de gestión ambiental, los gestores asumen el rol de la producción en la mayoría de los casos o realizan vínculos con especialistas en la producción de video, que de alguna manera refuerza la competencia del gestor para vincularse con otros en la concreción de un proyecto. Dentro de este programa, el video también se ha empleado como estrategia de comunicación para dar a conocer a la sociedad en general los proyectos de gestión, con el propósito de destacar lo que se ha hecho en torno a la sustentabilidad en un lugar específico y resaltar la importancia ambiental, social y económica que representan, pero también sirve como una base de conocimiento accesible y de fácil asimilación para ser empleada como base para realizar otros proyectos que sumen a la sustentabilidad en ese entorno.

Tabla 3. *Ventajas y desventajas de la producción audiovisual*

Ventajas		Desventajas	
✓	Representa realidades complejas y una gran cantidad de información.	✓	Se requieren competencias avanzadas para su producción.
✓	Instruye y ayuda a formar opinión.	✓	El costo de producción es alto.
✓	Fomenta identidad.	✓	El costo de uso es alto por el consumo de datos, pues son archivos pesados.
✓	Permite la comunicación educativa a un nivel profundo.	✓	Requiere que el grupo objetivo tenga equipo para reproducir o bien acceso a internet.
✓	No requiere del usuario final saber leer o escribir.		

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplos de videos



Video instruccional sobre estufas ahorradoras que sirvió como recurso didáctico para implementar esta ecotecnia en poblaciones del ANP Cofre de Perote

Acervo de XbalamUV

Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=qEpvw6hi5wQ&t=7s>



Video documental sobre el ANP Pico de Orizaba que se empleó como recurso didáctico para resaltar la importancia de su conservación.

Acervo de XbalamUV

Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=oiMN9MdTgno&t=33s>

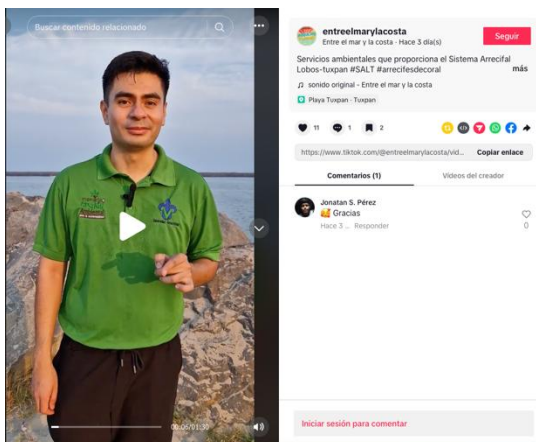


Video de presentación de proyecto sobre gestión ambiental sobre el cuidado del agua mediante la construcción de biopiscinas.

Acervo de MGAS UV

Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=b8WVFuoxqXU&t=1s>



Video en la red social TikTok

El gestor ambiental presenta 5 razones para preservar el arrecife de coral Lobos Tuxpan en Veracruz, este proyecto busca generar conciencia sobre la importancia de proteger estos ecosistemas.

Productor Jorge Luis García Figueroa

Proyecto: Entre el mar y la costa

Disponible en: <https://shorturl.at/F2aYj>

Sitios Web

En este rubro, los gestores ambientales usan tecnologías de edición de sitios web, a través de plantillas HTML5 y de plataformas gratuitas como Wix®, Squarespaces®, Wordpress® y otros. Gracias al sistema de arrastrar y soltar de estas plataformas, así como del uso de Inteligencia de Diseño Artificial (IDA o *Artificial Design Intelligence*, por sus siglas en inglés), las páginas son fácilmente creadas (o generadas) y publicadas con una curva de aprendizaje poco pronunciada. A través de las plantillas HTML5, se pueden integrar casi todos los elementos que se producen con apoyo de las TAC, como lo pueden ser gráficas, imágenes, audios, videos, presentaciones, multimedios y ejercicios educativos, entre otros. La creación de un punto de publicación de páginas web, permite además la distribución y acceso a través de dispositivos móviles como teléfonos celulares y tabletas, así como de computadoras de escritorio y laptops.

Esto genera posibilidades de comunicar y divulgar los distintos proyectos a la academia o a la misma sociedad en general, sirviendo como base de experiencia para otros proyectos. En algunos casos, estos sitios web generados en los proyectos de gestión ambiental se ceden a los grupos sociales que participan en los proyectos quienes se encargan de su uso y administración.

Ejemplos de micrositios web de proyectos ambientales



Figura 4. Sitio Web sobre educación ambiental en la ANP Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT)

Desarrollado por: José Agustín Soto Zárate

Disponible en: <https://jasz7758.wixsite.com/easalt>



Figura 5. Sitio Web sobre educación ambiental para el cuidado del agua y protección de especies amenazadas.

Desarrollado por: Karem Margarita Ramírez Solano

Disponible en:

<https://karemramirez17.wixsite.com/aguayajolote>

Con respecto al uso de las IAG, de acuerdo con López-Cano (2024), las plataformas son útiles para buscar en fuentes de información disponibles en internet, para seleccionar, integrar y entregar un resultado más o menos coherente con el idioma y el *prompt* introducido y recomienda tomar en cuenta que la IAG no valora la fiabilidad de las fuentes que consulta ni toma decisiones a partir de conocimientos previos.

López-Cano (2024) aclara que actualmente las IAG no realizan inferencias ni son capaces de valorar la veracidad de los contenidos ofrecidos y que gestionan y presentan los datos de acuerdo con la programación. Insiste en que “no producen conocimiento, sino más información y no son una fuente de información *per se*” (López-Cano, 2024, párr. 3), por lo que se debe comprobar cada información desplegada por estos sistemas.

Algunas de las recomendaciones de López-Cano (2024) son el uso de plataformas de IAG como *perplexity* o *elicit* ya que indican las fuentes de donde obtuvieron la información; en esta última página se menciona la posibilidad de “analizar artículos de investigación a una velocidad sobrehumana” (Stuhlmüller, 2024, párr. 1), lo que posibilita una revisión sistematizada de la confiabilidad de las fuentes citadas.

En el caso de la gestión ambiental, es conveniente procurar el uso de medios (imagen y/o video) que reflejen la realidad de los grupos objetivo, donde las simulaciones generadas por IA no convienen, salvo para reflejar algún escenario hipotético del efecto de alguna problemática ambiental.

Existe el dilema ético del uso de IA para generación de contenidos que, aunado a los inconvenientes ya citados de falta de respaldo académico, pues representa un alto gasto energético para su funcionamiento y uso de agua para enfriamiento de los centros de datos (Guerra-Jáuregui, 2024). Por otro lado, tenemos las grandes ventajas que puede suponer por ejemplo para la agricultura con sistemas inteligentes de monitoreo del estado de cultivos y aplicación de recursos como agua, abonos, fungicidas, insecticidas y demás. Así como el monitoreo de sistemas complejos a gran escala como bosques, ANP, etc., que pueden apoyar a la gestión ambiental con toda la información que se puede generar, concentrar y analizar de manera más eficaz. Por tanto, si bien la IA representa una herramienta valiosa para la sustentabilidad también tiene un alto costo ambiental, en estas condiciones lo que conviene es hacer un uso racional y medido de las posibilidades que presenta para el gestor ambiental.

Conclusiones

A través del análisis de los trabajos de gestión ambiental, es posible observar la importancia de tecnologías para favorecer procesos de aprendizaje y de construcción de bases de conocimiento en las personas, que los lleven a la reflexión de su importancia personal en la solución de una problemática, ya sea para proteger el ambiente, restaurar su salud y equilibrio, o bien para satisfacer sus necesidades productivas y económicas con respeto al equilibrio ambiental.

El uso de tecnologías por sí mismas no representan ningún cambio en los aprendizajes y conocimientos de las personas, sino que debe acompañarse de procesos de educación ambiental bien planeados y organizados, donde se motive la reflexión de los grupos objetivos sobre las acciones que conviene y que no conviene realizar en una situación determinada. Suponer que un abanico amplio de recursos tecnológicos sustituye la capacidad del gestor/educador ambiental, es un punto de partida para que los proyectos de gestión ambiental fallen, pues no podrá darse un proceso efectivo de apropiación de saberes.

Es importante considerar las premisas de diseño instruccional mencionadas en la figura 2, pues de ello depende generar recursos de comunicación educativa adaptados a las necesidades del grupo objetivo; en consecuencia, es importante la investigación diagnóstica de sus características y también el diálogo y la construcción horizontal colaborativa de las formas de comunicar educativamente. Se han observado a lo largo de muchos proyectos de gestión ambiental, cómo el comunicar educativamente de manera acertada cambia las realidades y motiva el involucramiento activo que permite que las iniciativas y acciones en pro del ambiente prevalezcan, aun cuando el proyecto de gestión haya concluido.

Las TAC empleadas en el desarrollo de recursos de comunicación educativa, tienen varias ventajas, una de ellas es que es software orientado a usuarios donde no es necesario saber programación para emplearlas efectivamente, lo cual representa una gran ventaja para el gestor ambiental sin importar su conocimiento previo en esta materia, pues puede realizar recursos adecuados, profesionales y efectivos para la necesidad de formación identificada. El aprendizaje sobre el uso de las TAC significa para el gestor el desarrollo de competencias específicas altamente requeridas en el campo laboral.

Referencias

- Aliaga-Aguza, L. M. (2022). *Las TIC, las TAC, las TEP y... ¿Por qué no las TOC?* Universidad Isabel I. <https://www.ui1.es/blog-ui1/las-tic-las-tac-las-tep-y-por-que-no-las-toc>
- APPF. (2021). *¿Qué son las TIC, TAC y TEP en la educación? | Tutorial.* <https://www.appf.edu.es/que-son-las-tic-tac-y-tep-en-la-educacion/>
- Archilla-Segade, H. (2024). La producción científica en Aprendizaje basado en proyectos artísticos. Un análisis bibliométrico. *Revista Complutense de Educación*, 35(3), 461–473. <https://doi.org/10.5209/rced.85811>
- Casar-Corredera, J. R. (2023). Inteligencia artificial generativa. *Anales de la Real Academia de Doctores*, 8(3), 475–489. <https://www.rade.es/imageslib/PUBLICACIONES/ARTICULO/S/V8N3%20-%2001%20-%20ED%20-%20CASAR.pdf>

- Domínguez-González, N., Chamorro-Zárate, M. Á., & Narave-Flores, H. V. (2024). Contribución a la gestión ambiental para la sustentabilidad desde el posgrado. *Universita Ciencia*, 12(24), 125-139. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.13245267>
- Domínguez-González, N., Cruz-Vázquez, M., Tetla-Tepixtle, M., Martínez-Sánchez, J. A., Soto-Pol, V. R., & Ayala-Benítez, D. O. (2021). Comunicación ambiental en comunidades indígenas: Educación para la gestión ambiental. *Emerging Trends in Education*, 4(7). <https://doi.org/10.19136/etie.a4n7.4460>
- Forsyth, A., Brennan, C., Escobedo Ruiz, N., & Scott, M. (2016). Apéndice C: Definiciones de sustentabilidad. En *Revitalizing Places: Improving Housing and Neighborhoods from Block to Metropolis Revitalizando Ciudades: Mejorando Viviendas y Barrios desde la Cuadra a la Metrópolis* (Primera Edición, p. 319). Harvard Graduate School of Design. https://research.gsd.harvard.edu/socialhousingmexico/files/2016/09/RP_AppendixC_082416_LP.pdf
- González-González, M. G., Ojeda Chimborazo, M. C., & Pinos Coronel, P. C. (2020). Desafío del Siglo XXI en la educación: Dando saltos del TIC-TAC al TEP. *Revista Scientific*, 5(18), 323–344. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2020.5.18.17.323-344>
- Guerra-Jáuregui, M. (2024, septiembre 6). *El costo ambiental de la IA*. Observatorio / Instituto para el Futuro de la Educación. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/el-costo-ambiental-de-la-ia/>
- Lanxon, N., Bajo, D., & Dávalos, J. (2023). *A Cheat Sheet to AI Buzzwords and Their Meanings: QuickTake* [Tech & Telecomm]. Bloomberg: <https://news.bloomberglaw.com/tech-and-telecom-law/a-cheat-sheet-to-ai-buzzwords-and-their-meanings-quicktake>
- Londoño-Palacio, O. L., Maldonado-Granados, L. F., & Calderón-Villafañez, L. C. (2016). *Guías para construir estados del arte* (Edición electrónica). International Corporation of Networks of Knowledge. <https://hdl.handle.net/20.500.12799/4637>
- López-Cano, R. (2024). *¿Citar o no citar ChatGPT?* | Facebook. Facebook. <https://www.facebook.com/527216240/posts/10162577945266241>

- Markus, M. L., & Robey, D. (1988). Information Technology and Organizational Change: Causal Structure in Theory and Research. *Management Science*, 34(5), 583–598. <https://doi.org/10.1287/mnsc.34.5.583>
- Menchaca-Pardow, A. A. (2024). *Estrategias de escalamiento de la Agroecología en la Zona Metropolitana de Xalapa, experiencias de trabajo colectivas con actores locales* [Tesis de Maestría]. Universidad Veracruzana. Facultad de Biología. Maestría en Gestión para la Sustentabilidad.
- Muriel, R. D. (2006). Gestión Ambiental, Orígenes de la Problemática Ambiental. *Revista Idea Sostenible*, 3(13), 1–8.
- Orgaz-Agüera, F. (2018). Educación ambiental. *DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 31. <https://www.eumed.net/rev/delos/31/francisco-orgaz.html>
- Pariente-Fragoso, J. L., & Perochena-González, P. (2013). Didáctica de la educación en valores en la ESO. Una propuesta utilizando las tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 42, 195–208.
- Peralta-Vázquez, C. (2017). Colabora 365 ahorra tiempo e incrementa productividad. *Universo - El periódico de los Universitarios*. <https://www.uv.mx/universo/general/colabora-365-ahorra-tiempo-e-incrementa-productividad/>
- Piñero-Virué, R., Reyes-Rebollo, M. M., & Ballesteros-Regaña, C. (2022). Tic, tac, toc e inclusión. *edutec 2022 Palma-XXV Congreso Internacional*, p. 85-87. <https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/160463/TIC,%20TAC,%20TOC%20E%20INCLUSI%C3%93N.pdf>
- Serna-Poot, D. (2021). Tecnologías móviles en la Educación Mobile Technologies in Education. II Congreso Internacional de Tecnologías Emergentes en Educación e Informática 2014. Universidad Da Vinci. México. *arXiv - Cornell University*, 11. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2111.00308>
- Solórzano-Barberán, G. M. (2021). Tecnologías de información y comunicación (TIC) en la educación. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 2246–2260.
- Stuhlmüller, A. (2024). *Elicit: The AI Research Assistant*. <https://elicit.com/>

- Tapia, L. J., González, G. E., & José, D. D. (2023). Uso de herramientas virtuales en la educación híbrida en el nivel medio superior. *Humanidades, Tecnología y Ciencia del Instituto Politécnico Nacional*, 29, 1–7.
- Torres-Pascual, C., Torrell-Vallespín, S., Torres-Pascual, C., & Torrell-Vallespín, S. (2020). Análisis bibliométrico de la producción científica latinoamericana y del Caribe sobre COVID-19 en PUBMED. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 31(3).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2307-21132020000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

**Rodolfo Viveros Contreras¹, Yadeneyro de la Cruz Elizondo²,
José Armando Lozada García²**

157

Resumen

El planeta se enfrenta a una crisis ambiental sin precedentes, la cual pone en riesgo la relación entre la sociedad y la naturaleza. Esta situación nos obliga a replantear nuestros modelos de desarrollo y a buscar soluciones urgentes. En este escenario, la educación universitaria juega un papel fundamental, ya que tiene como propósito la formación de ciudadanos conscientes y comprometidos con la construcción de un futuro sostenible. Ante la crisis global, se hace impostergable la incorporación de la dimensión ambiental en los planes de estudio, en los cuales se abordan saberes asociados a la sustentabilidad que coloquen en el centro de la discusión problemáticas ambientales, a partir de las cuales se generen alternativas de solución que incluyan no solo conocimientos de vanguardia, sino que incorporen una reflexión y conducción ética. Las instituciones de educación superior no pueden permanecer ajenas a este contexto, y deben asumir la responsabilidad de formar profesionales con las competencias necesarias para enfrentar los desafíos de la sustentabilidad. En este estudio se proponen diversas estrategias que podrían ayudar a sistematizar algunos planteamientos didácticos para promover aprendizajes significativos en carreras científico-prácticas como las carreras tecnológicas e ingenierías. Se pretende profundizar en algunas herramientas que le permitan al docente la integración pedagógica de la sustentabilidad, considerando no solo el desarrollo de conocimientos, sino también de habilidades, destrezas y actitudes. Con ello, se pretende analizar elementos para mejorar las metodologías usadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje y que estos se reflejen en la formación integral de los estudiantes.

Palabras clave: Ciencia, conocimientos, educación ambiental, enseñanza superior, estrategias educativas.

Introducción

En los tiempos actuales es necesaria una educación que promueva una visión del mundo no antrópica, donde se equilibren los aspectos social, económico y ecológico. Para esto es importante promover el “ámbito educativo y, más específicamente en educación superior, el cumplimiento de las metas de los ODS es una tarea sumamente desafiante, que requiere un abordaje centrado en las personas y multidimensional, es decir, que integre dimensiones

socioculturales, económicas y ambientales” (Florencia, 2022, p.7). Esto requiere sin duda un cambio de paradigma en la formación de los ciudadanos, ampliando sus percepciones, valores y formación.

En una sociedad dominada por lógicas productivistas y de mercado, el crecimiento se limita a la producción de bienes. Sin embargo, es necesario considerar una dimensión más amplia del crecimiento, que implique cuidar la capacidad de regeneración del ecosistema. Al decir de García-Suarez (2019)

Para nadie es un secreto que la universidad ha tenido recientemente profundas transformaciones en su ser y su proceder, impulsadas por la racionalidad instrumental, el pragmatismo, la economía de mercado y las dinámicas del mundo globalizado. Ello ha dado menor visibilidad y protagonismo a los intereses formativos inherentes al ejercicio de la academia, con su correspondiente efecto en los currículos, los cuales tienden a carecer de objetivos de aprendizaje relacionados con la ética y el ejercicio socialmente responsable de la profesión (p.27).

Según Canal et al. (2011), la educación actual se centra más en aspectos institucionales, normativos y de acreditación que en un diálogo sobre cómo enriquecer las formas de aprendizaje. Se ha perdido de vista que tanto la economía como la educación deberían tener como objetivo el cuidado del ser humano, el respeto a todas las formas de vida y la sostenibilidad del medio ambiente. La educación tecnológica en general privilegia la adquisición de conocimientos especializados y técnicos, así como el desarrollo de habilidades y destrezas que permitan una rápida incorporación de los egresados al mercado laboral.

En este contexto,

se concibe entonces que ser sustentable en las Instituciones de Educación Superior (IES) implica reconocer las limitaciones y áreas de oportunidad que se tienen; entender que lograr una sustentabilidad al cien por ciento es imposible en el corto plazo y trazar un camino consensuado con la comunidad y las partes interesadas para buscar un equilibrio entre sus aspiraciones ecológicas, sociales, económicas e institucionales que se alcanzará paulatinamente y que permitirá la promoción de una cultura de sustentabilidad y la generación de una conciencia individual y colectiva en la necesidad de un cambio

en el estilo de vida institucional, que se vea reflejado en acciones diarias como integrantes del hábitat institucional. (Figueroa-García et al 2023, p. 93).

Es necesario pensar, por tanto, en una educación con un enfoque holístico que considere el cuidado del ser humano, el respeto por la diversidad y la sostenibilidad ambiental. Se prioriza la formación de capital humano para el mercado laboral, lo que limita las posibilidades de aprendizaje y desarrollo integral de los estudiantes.

La educación juega un papel crucial en la formación de ciudadanos capaces de comprender un mundo complejo y biodiverso. Las universidades, como espacios de formación social e intelectual, deben promover enfoques multidisciplinarios que fomenten la reflexión sobre la convivencia del ser humano con la naturaleza. Por consiguiente, el planteamiento de estrategias didácticas que permitan incorporar la sustentabilidad en las carreras universitarias contribuye a formar ciudadanos responsables del cuidado del ambiente y capaces de impulsar la transformación social hacia un futuro sostenible.

Desarrollo

Los modelos educativos basados en el enfoque de competencias obligan a pensar al diseño de estrategias de enseñanza más incluyentes, esto es, que engloben contenidos referidos al “saber qué” (saberes teóricos), la resolución de problemas, referidos al “saber cómo” (saberes heurísticos) y las actitudes y valores, referidos al “saber ser” (saberes axiológicos). Cuando abordamos un determinado contenido, solemos pensar en la estrategia didáctica concentrándonos en el dominio teórico o técnico que debe dominar el estudiante y dejamos a un lado el aspecto de resolución de problemas en una realidad cambiante, así como el aspecto actitudinal. Bajo el enfoque de competencias, debe vislumbrarse como escenario formativo el dominio y apropiación de un conjunto de saberes referidos a los saberes integrales que eviten el sesgo formativo hacia alguno de los ámbitos anteriormente descritos.

A este respecto, es necesario aclarar tres tipos de conocimiento: el declarativo, procedimental y actitudinal. El conocimiento declarativo normalmente, se expresa con la fórmula: “saber eso”. Este tipo de conocimiento juega un papel importante en el currículo escolar, pero muchas veces se separa del conocimiento procedimental, generando el peligro de degradarlo a

mero verbalismo. Identificamos en este rubro a los contenidos asociados a los conocimientos teóricos. El conocimiento procedimental está codificado de forma activa y se refiere a la relación operativa con las cosas del mundo. Esto no implica necesariamente una manifestación conductual, ya que también puede resultar en un procedimiento mental del cual solo el resultado es observable. Dado que su nivel de codificación es no verbal, es en su mayoría implícito y, por lo tanto, no requiere que el agente conozca la estructura ejecutiva. Por lo general, este tipo de conocimiento se introduce mediante la fórmula “saber cómo”. El plan de estudios generalmente incluye varios conocimientos de procedimiento, ya que cada disciplina incluye una sintaxis sobre reglas y procedimientos. Sin embargo, en la escuela, el conocimiento procedimental se considera a menudo como una habilidad que se debe entrenar mecánicamente, más que desarrollar inteligentemente. (Domínguez et al, 2021)

Por último, el conocimiento actitudinal refiere al fortalecimiento de los valores que acompañan una conducción ética y que permite el desarrollo sociocultural en la práctica laboral de los egresados, quienes deben fomentar desde la ética el principio de integridad en el espacio laboral para insertarse en ambientes de trabajo honestos y confiables (Gómez, 2024). La ética es entendida como el cuidado del otro y el respeto a los demás seres vivos y el ambiente.

Para favorecer la inclusión de la sustentabilidad en el *currículum* y propiamente en las sesiones de clase, la idea es optar por una estrategia didáctica que, debidamente fundamentada, sea capaz de abarcar la enseñanza de las ciencias en la escuela como un todo, es decir, que pueda adaptarse para el diseño y puesta en acción de todas las actividades que se realizan en el aula: las clases teóricas, la resolución de problemas de papel y lápiz, los trabajos prácticos de laboratorio y la evaluación de los aprendizajes. (Longhi et al., 2020).

La perspectiva constructivista

Este artículo presenta una propuesta pedagógica que busca plantear estrategias en las prácticas educativas en educación superior mediante metodologías que incorporen contenidos que permitan la reflexión sobre acciones sustentables. El objetivo principal es despertar en los estudiantes un uso racional de los recursos naturales, incentivando su interés y participación activa en las diversas actividades plasmadas en los programas de asignaturas. Dichas propuestas

promueven la creación de espacios sociocognitivos dinámicos que no solo fomentan el trabajo colaborativo, sino que despiertan en los participantes un sentido de pertenencia con el mundo que los rodea. De esta manera, los estudiantes se convierten en individuos motivadores, con perspectiva sostenible y conscientes de su accionar pedagógico y socioambiental.

A este respecto, es necesario mencionar que, en buena medida, el éxito del aprendizaje depende de las estrategias del docente, las características del conocimiento, el reconocimiento del contexto y conocer la forma en cómo aprenden sus estudiantes. En este marco, desde la perspectiva constructivista, las estrategias didácticas deben estar asociadas al a) Conocimiento del estudiante: saberes previos, historia de vida y estilos de aprendizaje, b) Organización de la información: gradualidad de contenidos, lenguajes apropiados y materiales contextualizados, c) Acciones didácticas: aprendizaje individual y colaborativo acorde a las particularidades de los estudiantes, d) Motivación: fomentar el interés en los contenidos, e) Enfoque en el estudiante: desarrollar el razonamiento, autoaprendizaje y aprendizaje colaborativo y f) Destrezas experimentales: resolución de problemas.

Como puede advertirse, el constructivismo busca comprender cómo se origina el conocimiento y cómo aprendemos. Enfatiza la importancia de las ideas previas, la historia de vida, el carácter práctico del aprendizaje y la disposición emocional del sujeto. Las metodologías activas como el trabajo colaborativo, las dinámicas interactivas y el diálogo de saberes son fundamentales para involucrar a los estudiantes y construir éstos de manera individual y colectiva. Ausubel et al., (1983) afirman que el aprendizaje es inteligente si es significativo y reflexivo. Significativo si el sujeto posee conceptos para dar significados precisos a la experiencia. Reflexivo si el sujeto actúa sobre hipótesis y analiza los resultados para modificar sus intentos posteriores.

Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica de las distintas estrategias didácticas que permiten abordar de manera integral las competencias en los planes de estudio. Esta revisión de carácter documental implicó la valoración de dichas estrategias a la luz de la corriente constructivista. En este contexto se analizaron las dimensiones de la sustentabilidad y la forma en cómo podrían abordarse de manera integral, sobre todo en el aprendizaje relacionado con el saber hacer de las profesiones.

Se identificaron al menos cinco estrategias didácticas que podrían analizarse para incorporar la sustentabilidad en carreras de carácter tecnológico o ingenierías. Dichas estrategias permiten analizar problemáticas desde el “saber hacer” de la profesión en la dimensión ambiental, sociocultural y económica y son recuperadas aquí por su carácter práctico y porque creemos que permiten articular los saberes teóricos, heurísticos y axiológicos y con ello favorecer la formación integral.

Propuesta

1) Análisis y estudios de caso: El método de casos se caracteriza por su doble enfoque, técnico y metodológico, lo cual ha permitido ser implementado con éxito en una amplia gama de disciplinas y actividades académicas a nivel universitario. Sin embargo, su aplicación presenta diversas variantes y perspectivas, y exige cumplir con ciertos requisitos en cuanto a la forma y estilo para garantizar su eficacia en el aula. A diferencia de métodos tradicionales centrados en la figura del docente, el método de casos promueve la participación activa del estudiante, quien asume un rol protagónico en la identificación, análisis, sistematización, evaluación y toma de decisiones para resolver los problemas o situaciones planteados en el caso (Estrada y Alfaro, 2015).

El método de casos se caracteriza por su naturaleza interactiva, donde estudiantes y docentes trabajan en conjunto para construir conocimiento de manera gradual. Esta metodología podría considerarse como una técnica de simulación en el aula, donde se recrean escenarios reales para el análisis y la toma de decisiones. Sin embargo, para su éxito, es fundamental que el docente realice una planificación previa, tomando en cuenta las características del entorno, las necesidades de los estudiantes y la complejidad del tema en cuestión (Estrada y Alfaro, 2015).

En este contexto, a través del análisis de casos reales o hipotéticos, los participantes adquirirán la capacidad de plantear alternativas de solución a problemáticas específicas. Cualquier caso de análisis, es necesario desmenuzarlo en sus distintos componentes: económico, sociocultural y ambiental. Un ejemplo posible puede constituir el diseñar herramientas de ingeniería para mejorar el transporte público. Un componente económico es el relativo al costo-beneficio que tiene el transporte en tanto aportación económica al ámbito social, el componente ambiental, referido a la disminución de gases contaminantes que afecten la salud de las personas, y el componente sociocultural, que tiene que ver con lo relativo a la interacción de los usuarios con

el transporte, estética, espacio, etc. Por tanto, se pueden plantear alternativas de solución a problemas reales o hipotéticos del entorno desde diferentes enfoques y a través de trabajo en equipo y colaborativo.

La aplicación de la metodología de estudio de casos promueve un aprendizaje más dinámico y profundo, caracterizado por el análisis, la reflexión, la participación activa y el trabajo colaborativo en la resolución de problemas. Esta metodología facilita la comprensión de conceptos en contextos reales, fortaleciendo las habilidades conceptuales y actitudinales de los estudiantes para abordar situaciones complejas. Como resultado, se forman individuos más competentes y comprometidos con el proceso de aprendizaje continuo (Basantes *et al.*, 2024).

2) Desarrollo de experimentos en laboratorio (Prácticas de laboratorio): En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, existe un consenso cada vez mayor sobre el valor de las actividades de laboratorio. Su implementación ofrece múltiples beneficios, incluyendo el aumento de la motivación en los estudiantes (Janštová, 2015). Desde hace más de un siglo, estas actividades han sido un componente fundamental de la educación científica (DeBoer, 2019). Además, la calidad del entorno donde se llevan a cabo las prácticas de laboratorio juega un papel crucial en el desarrollo intelectual, el bienestar y el progreso de nuestras sociedades (Lemus y Guevara, 2021).

El desarrollo de experimentos o análisis relacionados con la carrera para la adquisición de habilidades y destrezas para el dominio de una disciplina es un componente fundamental. Esta práctica permite a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos en situaciones reales. Los experimentos y análisis brindan la oportunidad de poner en práctica los conceptos y principios aprendidos en el aula, permitiendo a los estudiantes observar cómo estos se manifiestan en el mundo real o en casos hipotéticos. Permite, desde una perspectiva heurística, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas. Al diseñar, ejecutar y analizar experimentos o análisis, los estudiantes aprenden a formular preguntas, recopilar y evaluar datos, identificar patrones y llegar a conclusiones. Posibilitan también que los estudiantes piensen de manera creativa y encuentren nuevas soluciones a problemas. Esto les ayuda a desarrollar la capacidad de innovar y adaptarse a los cambios en su campo de estudio. Así mismo, juega un papel trascendental el trabajo en equipo, pues permite a los estudiantes desarrollar sus habilidades de

comunicación, colaboración y trabajo en equipo, habilidades que son altamente valoradas por los empleadores. Por citar un ejemplo, un estudiante de ingeniería podría diseñar y realizar un experimento para probar la resistencia de un nuevo material de construcción. Ahí pone en juego el saber teórico a través de los contenidos que necesita revisar para saber cómo se integra la composición y combinación de compuestos químicos de los materiales (debe buscar que sean amigables con el ambiente), el saber heurístico, manejo de habilidades y destrezas para generar esa composición (si usa herramientas tecnológicas, buscar el menor impacto al entorno natural) y los saberes axiológicos (generar una actitud ética con el otro y con los demás seres vivos de tal manera que minimice el impacto negativo).

3) Desarrollo de prácticas de campo en sitios estratégicos: El trabajo de campo se presenta como una estrategia constructivista fundamental en la enseñanza de las ciencias. Esta metodología permite a los estudiantes interactuar directamente con el entorno y la diversidad de seres vivos que lo habitan, promoviendo un aprendizaje más significativo y experiencial (Godoy y Sánchez, 2007). Cabe destacar que el trabajo experimental y de campo son elementos esenciales del *corpus* disciplinar en esta área, estableciendo una conexión vital entre la teoría y la práctica. Su inclusión en los planes de estudio facilita la comprensión de la naturaleza de la ciencia y es considerada por la mayoría del profesorado como una exigencia natural de su labor profesional. De hecho, una enseñanza meramente teórica se percibe como "incompleta" sin la incorporación de estas experiencias prácticas (Acosta et al, 2017).

La realización de estancias en sitios donde se encuentran las problemáticas reales para poner en práctica conocimientos, habilidades y destrezas, esto es en la empresa, en organizaciones, en las comunidades, etc. Esto puede incluir pasantías, proyectos de investigación, trabajos voluntarios o iniciativas emprendedoras. Participar activamente en proyectos que integren prácticas sostenibles, que desarrollen el pensamiento crítico al poner en práctica aspectos de evaluación del impacto ambiental, social y económico de las soluciones de ingeniería durante el diseño, la implementación y la evaluación de los proyectos.

Dado que en este marco se trabaja con los principales involucrados en las problemáticas o los proyectos en cuestión, se pone en juego la capacidad de comunicar de manera clara y convincente los principios y beneficios de la sustentabilidad a diversos públicos, incluyendo clientes, colegas, empresarios, personas de las comunidades, entre otros. En este sentido, contribuyen este tipo de prácticas a reafirmar una visión holística para comprender las interrelaciones entre los sistemas sociales, económicos y ambientales, considerando las consecuencias a largo plazo de las decisiones de ingeniería que habrán de adoptarse, así como actuar con responsabilidad social y ética, considerando el impacto de las actividades de ingeniería en el bienestar de las personas y el planeta.

4) Aprendizaje basado en problemas: Si bien su eficacia ha sido ampliamente demostrada en investigaciones a nivel global (Hernández-Huaripaucar y Yallico-Calmett, 2020), el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) se distingue como una estrategia didáctica innovadora con un gran potencial en el ámbito educativo.

Exley y Dennick (2007) describen el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como una metodología de enseñanza activa, cooperativa y centrada en el estudiante, que promueve el aprendizaje autónomo y motivador. Se caracteriza por:

- Enfocarse en el alumno y su proceso de aprendizaje, fomentando el trabajo autónomo y en equipo.
- Desarrollándose en grupos pequeños de 5 a 8 estudiantes, optimizando la resolución de conflictos.
- Incentivar la interconexión entre diferentes materias para abordar problemas complejos.
- Guiar a los estudiantes hacia una integración holística de sus conocimientos.
- Permitir su implementación como estrategia complementaria en una asignatura durante todo el curso académico.

El ABP se centra en problemas reales y desafiantes, en este caso, asociados a la sustentabilidad, como la contaminación ambiental, el cambio climático o la escasez de recursos. Esto permite a los estudiantes asociar los conceptos teóricos con situaciones concretas, fomentando un aprendizaje significativo y contextualizado.

Los problemas seleccionados deben ser relevantes para el entorno local y global, considerando las necesidades y prioridades de las comunidades, organizaciones, empresas, entre otros ámbitos donde se desarrolla el proceso educativo. En este marco, desde el ABP, se promueve el desarrollo de habilidades esenciales para abordar la sustentabilidad, como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la toma de decisiones informadas. A través del análisis y la búsqueda de soluciones a problemas reales, los estudiantes aprenden a identificar las causas y consecuencias de los desafíos ambientales, sociales y económicos relacionados con la sustentabilidad. Esto promueve la responsabilidad individual y colectiva, el intercambio de conocimientos y la construcción de aprendizajes compartidos. Los estudiantes asumen roles proactivos en su propio proceso de aprendizaje, guiados por un docente que actúa como facilitador y mentor.

Un asunto importante de destacar lo constituye la naturaleza interdisciplinaria; permite integrar conocimientos y perspectivas de diversas áreas como la ingeniería, las ciencias ambientales, las ciencias sociales y la economía. Esto facilita una comprensión holística de los problemas de sustentabilidad y la búsqueda de soluciones multidimensionales. Los estudiantes se familiarizan con el trabajo en equipos interdisciplinarios, una habilidad esencial para enfrentar los desafíos complejos de la sustentabilidad en el mundo real.

El ABP culmina típicamente con la elaboración y presentación de proyectos concretos que buscan dar soluciones a los problemas identificados. Esto permite a los estudiantes aplicar los conocimientos adquiridos y desarrollar habilidades prácticas para la implementación de estrategias sostenibles. Los proyectos pueden tener un impacto real en la comunidad, promoviendo la acción social y la responsabilidad ambiental entre los estudiantes. Algunos ejemplos pueden ser: diseño de sistemas de energía renovable para comunidades rurales, desarrollo de estrategias para la gestión sostenible de residuos en entornos urbanos, evaluación del impacto ambiental de proyectos de infraestructura y desarrollo.

5) Proyectos integradores: Vazquez (2020) define los proyectos integradores como una herramienta didáctica que promueve la conexión entre los saberes cognitivos y metacognitivos de los estudiantes, asegurando su proceso de aprendizaje. Estos proyectos buscan establecer un

puente entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica, fortaleciendo la comprensión de los alumnos.

Los proyectos integradores han ganado terreno en la enseñanza superior, tanto en América Latina como en otras regiones, debido a su capacidad de unificar áreas de estudio, conocimientos teóricos y prácticos, y fomentar la investigación interdisciplinaria (Rivero et al., 2017; Fong et al., 2016). Su potencial para generar propuestas innovadoras para el desarrollo social los convierte en una alternativa metodológica atractiva.

Al vincular diferentes asignaturas del programa de estudio, los proyectos integradores promueven el aprendizaje transversal, fortaleciendo el análisis crítico, el pensamiento complejo y la capacidad de articular saberes (Tobón, 2013; Fong et al., 2016). En esencia, contribuyen a la formación profesional integral de los estudiantes, preparándolos para afrontar los desafíos del mundo actual. Según Hudson (2021), los proyectos integradores, cuidadosamente planificados, permiten desarrollar competencias clave del perfil de egreso, tomando como base problemas relevantes del ámbito laboral-profesional. Esta experiencia proporciona a los estudiantes una conexión directa con su contexto, enriqueciendo su formación académica y preparándolos para el ejercicio profesional (Rivero et al., 2017).

Para fortalecer el desarrollo de las competencias, es importante recurrir a estos proyectos que permitan sintetizar lo abordado durante diversas sesiones, un semestre o al final de la carrera con el propósito de integrar las competencias señaladas en el curso. Para el planteamiento del proyecto, se sugiere identificar algunos elementos, a saber: 1) definir objetivos específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un plazo determinado, 2) llevar a cabo un diagnóstico sobre el tema seleccionado, incluyendo análisis de datos, revisión de literatura científica y consulta con expertos en la materia, 3) desarrollar soluciones innovadoras buscando que sean técnicamente viables, rentables en términos económicos y socialmente aceptables, 4) evaluar el impacto ambiental, social y económico de las soluciones propuestas, considerando su viabilidad a largo plazo, y como etapa importante para finalizar, 5) documentar de manera sistemática el proceso de investigación, los hallazgos obtenidos y las soluciones propuestas.

Un ejemplo de proyecto integrador y asociado a la sustentabilidad podría ser la elaboración de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar, donde se implemente el sistema de

energía diseñada y se evalúe el rendimiento de dicho sistema de energía. El proyecto puede contener los pasos anteriormente señalados, pasando por las etapas de análisis de la demanda energética, el diseño del sistema, implementación del sistema, evaluación del rendimiento, por mencionar algunos. En este ejemplo, el estudiante pone en práctica conocimientos teóricos, heurísticos y axiológicos abordados durante un periodo determinado y le permiten diseñar estrategias de intervención sustentables.

En síntesis, podríamos acotar estas estrategias didácticas en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Estrategias didácticas

Estrategia didáctica	Descripción	Ejemplo	Dimensiones de la sustentabilidad
Análisis y estudios de caso	Se presenta a los estudiantes un caso real o hipotético para que lo analicen y den solución.	Un grupo de estudiantes de ingeniería civil analiza un caso de estudio sobre el colapso de un puente para comprender las causas del fallo y aprender sobre los principios de diseño y construcción de puentes seguros.	<i>Ambiental:</i> Impacto de la construcción y operación del puente en el ecosistema local, (flora, fauna y calidad del agua). <i>Económico:</i> Beneficios económicos del puente, reducción de tiempos de viaje, aumento del comercio y creación de empleo. <i>Social:</i> Priorización de la seguridad de los usuarios del puente, incluyendo peatones, ciclistas, automovilistas.
Desarrollo de experimentos en laboratorio	Los estudiantes realizan experimentos prácticos para poner a prueba conceptos teóricos y desarrollar habilidades técnicas.	Estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica realizan un experimento para medir la resistencia a la tensión de diferentes materiales metálicos.	<i>Ambiental:</i> El experimento puede generar residuos como materiales metálicos o productos químicos. Implementar prácticas de gestión de residuos responsable, como el reciclaje o la reutilización. <i>Económico:</i> Conocer el material metálico más adecuado genera beneficios económicos, evitando el desperdicio de materiales costosos o inadecuados para el ambiente. <i>Social:</i> Impacto positivo en la comunidad al generar conocimiento sobre las propiedades de los materiales metálicos y su potencial aplicación.
Desarrollo de prácticas de campo	Los estudiantes realizan actividades en un entorno real para	Un grupo de estudiantes realiza una práctica en una empresa de energía renovable para aprender sobre la	<i>Ambiental:</i> Reducción de la huella de carbono. La instalación de paneles solares contribuye a la generación de energía limpia y renovable, a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a mitigar el cambio climático.

	aplicar sus conocimientos y habilidades.	instalación y mantenimiento de paneles solares.	<i>Económico:</i> La energía solar puede reducir o eliminar los costos de electricidad, especialmente en zonas con altos precios. <i>Social:</i> La energía solar puede proporcionar acceso a la electricidad a comunidades que no tienen acceso a la red eléctrica convencional.
Aprendizaje basado en problemas	Los estudiantes se enfrentan a un problema real o simulado y deben resolverlo utilizando sus conocimientos y habilidades.	Un grupo de estudiantes de ingeniería biomédica debe diseñar un dispositivo para ayudar a un paciente con una discapacidad física.	<i>Ambiental:</i> Se debe priorizar el uso de materiales sostenibles y de bajo impacto ambiental durante la fabricación del dispositivo. <i>Económico:</i> La fabricación del dispositivo puede reducir costos de transporte y aranceles, además de apoyar la economía local. <i>Social:</i> El dispositivo debe diseñarse en colaboración con usuarios potenciales con discapacidad física para garantizar que sea accesible y fácil de usar.
Proyectos integradores	Los estudiantes trabajan en un proyecto a largo plazo que requiere la integración de conocimientos y habilidades de diferentes áreas.	Un grupo de estudiantes de ingeniería civil aplica conocimientos de mecánica y electricidad al finalizar su trayectoria profesional a través de la construcción de un robot para diversos usos.	<i>Ambiental:</i> Selección de componentes de bajo consumo, la optimización del software de control y la implementación de estrategias de recuperación de energía. <i>Económico:</i> Puede aumentar la productividad al poder realizar tareas repetitivas, peligrosas o tediosas. <i>Social:</i> El prototipo puede usarse para resolver problemas ambientales, brindar atención médica, entre otros.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Reflexiones finales

En todos los casos es importante que el docente identifique el esquema de trabajo, proponga un objetivo claro, determine los saberes teóricos, procedimentales y axiológicos a alcanzar, seleccione las herramientas pertinentes, distribuya el tiempo oportuno para cada actividad, diseñe los instrumentos de evaluación (formativa y sumativa), considere la retroalimentación como elemento importante del proceso educativo. Así mismo, debe considerar el uso de herramientas tecnológicas y de entornos virtuales que son fundamentales para diversificar los escenarios de aprendizaje. A manera de conclusión, en las actividades de aprendizaje antes mencionadas se

articulan diversos elementos de lo que integra una competencia y su correspondencia con las dimensiones de la sustentabilidad. Para fines expositivos, se explican en la figura 1. Aunque sabemos que al momento de la práctica ocurren estos elementos de manera articulada e interrelacionada:

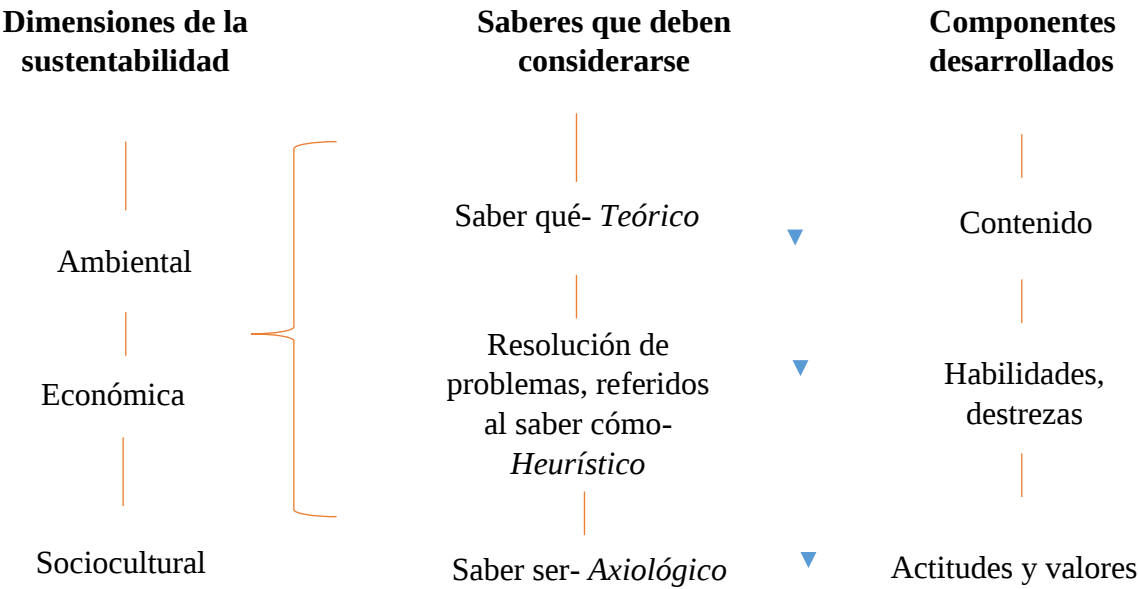


Figura 1. Correlación de sustentabilidad y saberes
Fuente: Elaboración propia (2024).

La enseñanza de la sustentabilidad en las carreras de ingeniería es crucial para formar profesionales capaces de enfrentar los desafíos del siglo XXI. Un enfoque integral debe considerar los siguientes aspectos:

1. Conocimientos (dimensión teórica)

- Fundamentos de la sustentabilidad: Formación sólida a los estudiantes en los principios de la sustentabilidad, incluyendo ecología, economía, justicia social y ética ambiental.
- Ciencia y tecnología sustentables: Enseñar sobre tecnologías y enfoques innovadores que promuevan la sustentabilidad en diversas áreas de la ingeniería, como energía renovable, eficiencia energética, diseño sustentable y gestión de recursos.

- Análisis de ciclo de vida: Capacitar a los estudiantes para evaluar el impacto ambiental, social y económico de productos, sistemas y procesos a lo largo de su ciclo de vida.

2. Resolución de problemas (dimensión heurística)

- Metodologías de resolución de problemas: enseñar y proponer el uso de metodologías para identificar, analizar y resolver problemas de sustentabilidad de manera efectiva.
- Pensamiento crítico: Desarrollar habilidades de pensamiento crítico que permitan evaluar información, identificar posibles sesgos y tomar decisiones informadas sobre temas de sustentabilidad.
- Comunicación efectiva: Capacitar a los estudiantes para comunicar ideas y soluciones de sustentabilidad de manera clara y convincente a diferentes audiencias.

3. Valores y actitudes (dimensión axiológica)

- Responsabilidad social y ambiental: Fomentar la comprensión de las responsabilidades éticas hacia la sociedad y el medio ambiente.
- Pensamiento sistémico: Desarrollar la capacidad de pensar en sistemas complejos y comprender las interrelaciones entre las dimensiones ambiental, social y económica de la sustentabilidad.
- Precaución y ética: Inculcar valores como la precaución, la responsabilidad y la ética en la toma de decisiones relacionadas con la sustentabilidad.
- Creatividad e innovación: Fomentar la creatividad y la innovación para encontrar soluciones sostenibles a problemas complejos.
- Trabajo en equipo y colaboración: Desarrollar habilidades de trabajo en equipo y colaboración para abordar desafíos de sustentabilidad que requieren enfoques interdisciplinarios.

Como puede observarse, las actividades planteadas en la propuesta están enfocadas a la implementación de estrategias de aprendizaje experiencial como proyectos, estudios de caso y

simulaciones para que los estudiantes apliquen sus conocimientos y habilidades a problemas reales de sustentabilidad, al trabajo en equipo e interdisciplinario. Fomentar el trabajo en equipo interdisciplinario para abordar problemas de sustentabilidad que requieren la colaboración de diversas áreas de la ingeniería, así como el aprendizaje basado en problemas, tanto reales como hipotéticos; ello propicia que los estudiantes identifiquen y resuelvan problemáticas de sustentabilidad relevantes para su contexto local o global.

Al incorporar estos ejemplos y recursos en la enseñanza de las ciencias, podemos ofrecer herramientas de relevancia a los estudiantes para que se conviertan en ciudadanos informados y comprometidos con la construcción de un futuro sustentable.

Referencias

- Acosta, S., Fuenmayor A., & Sánchez A. (2017). El trabajo de campo como estrategia didáctica para el aprendizaje de la zoología. *Omnia*. 23(1), 59-78. <https://www.redalyc.org/journal/737/73753475006/html/>
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (2a. ed.). Trillas. <https://docs.google.com/file/d/0B7leLBF7dL2vQUtIT3ZNWjdmTlk/edit?resourcekey=0-7rZQYXIVeCQaBs1MHiCVCg>
- Basantes, C. V., Heredia, D. V., Benavides C. V., & Carrillo L. E. (2024). El método de estudio de casos como alternativa pedagógica para el aprendizaje de Química General en estudiantes de Educación Superior. *Dominio De Las Ciencias*, 10(1). <https://doi.org/10.23857/dc.v10i1.3739>
- Canal M. E., Del Callejo D. D., Hernández R., Ochoa O. A., Peredo P. B., & Velasco J., M. (2011). *Educación relacional. Hacia un nuevo paradigma educativo*. IETEC-Arana Editores. <https://normas-apa.org/wp-content/uploads/Guia-Normas-APA-7ma-edicion.pdf>
- DeBoer, G. (2019). *A History of Ideas in Science Education*. Teachers College. https://play.google.com/store/books/details?id=f0qjDwAAQBAJ&rdid=book-f0qjDwAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_atb&pcampaignid=books_booksearch_atb&pli=1

- Domínguez, M. C., López-Gómez, E., & Cacheiro-González, M. L. (Coord.) (2021). *Investigación e internacionalización en la formación basada en competencias*. Madrid, Dykinson.
<https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/182217?page=21>
- Estrada, A., & Alfaro, K. L. (2015). El método de casos como alternativa pedagógica para la enseñanza de la bibliotecología y las ciencias de la información. *Investigación bibliotecológica*, 29(65), 195-212. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2015000100009&lng=es&tlng=es.
- Exley, K., & Dennick, R. (2007). *Enseñanza en pequeños grupos de educación superior: Tutorías, seminarios y otros agrupamientos* (P. Manzano, Trad). Narcea Ediciones.
- Figuerola García, E., Gutiérrez González, M., & Heath Moncada, L. (2023). Modelo de Sustentabilidad para Instituciones de Educación Superior: una estrategia de autodiagnóstico para la transición a la sustentabilidad. Estudio de caso. *Revista De La Educación Superior*, 52(206), 87-116. <https://doi.org/10.36857/resu.2023.206.2488>
- Fong, W., Acevedo, R. y Severiche, C. (2016). Estrategia de investigación formativa en educación Tecnológica: el caso del Proyecto Integrador. *Itinerario Educativo*, 30 (67), 103-121. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6280495>
- García-Suarez, D. E. (2019). *La formación de profesionales socialmente responsables en la universidad: una utopía posible en el currículo*. Bogotá, D.C. Colombia, Universidad de los Andes. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/118374?page=28>
- Godoy, I., & Sánchez, A. (2007). El trabajo de campo en la enseñanza de la Geografía. *SAPIENS. Revista universitaria de investigación. Universidad Pedagógica Experimental Libertador*. 8(2). 137-146. <https://www.redalyc.org/pdf/410/41080209.pdf>
- Gómez, E. (2024). Promoción de Valores en la Cultura Profesional de los Universitarios. Una Alternativa para Mejorar el Desarrollo Sociocultural en la Práctica Laboral. *Revista INVEDU Revista de investigación educativa*. <https://www.ulsapuebla.mx/revistainvedu/>
- Hernández-Huaripaucar, E. M., & Yallico Calmett, R. M. (2020). El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como estrategia didáctica innovadora en la enseñanza de la Anatomía Humana. *Horizonte de la Ciencia*, 10(19), 165-177. <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2020.19.595>

- Hudson B. (2021). El proyecto integrador como alternativa didáctica en la formación profesional de la música en Ecuador. *Revista de investigación y pedagogía del arte*. 1(10). <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/revpos/article/view/3804/2688>
- Janštová, V. (2015, 16-18 de noviembre). *What is Actually Taught in High School Biology Practical Courses. Proceedings* (Conferencia). 8th International Conference of Education, Research and Innovation (ICERI). Sevilla, España. https://www.researchgate.net/publication/305710981_What_is_actually_taught_in_high_school_biology_practical_courses
- Lemus, M., & Guevara, M. (2021). Prácticas de laboratorio como estrategia didáctica para la construcción y comprensión de los temas de biología en estudiantes del recinto Emilio Prud'homme. *Revista Cubana de Educación Superior*, 40(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142021000200011&lng=es&tlng=es
- Longhi, A. D., Ferreyra, A., & Paz, A. (2020). *Estrategias didácticas innovadoras para la enseñanza de las ciencias naturales en la escuela*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/175243?page=46>
- Rivero, A., Martín del Pozo, R., Solís, E., Azcárate, P., Porlán, R., (2017) Cambio del conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 29-52. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2068>
- Tobón, S. (2013). *Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4ta. Ed.). Bogotá: ECOE.
- Vázquez, J. N. P. (2020). La enseñanza y el aprendizaje desde el enfoque de proyectos integradores para la educación turística. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.763>

**Francisco Hernández Quinto¹, Mariana Lobato Báez²,
Luis Alberto Morales Rosales³, Daniel Alejandro
García López², María de Jesús Hernández Luna¹**

176

Resumen

Uno de los intereses para la producción agrícola, es identificar las variedades de cultivos adecuados con características sostenibles y sustentables en el tiempo. Particularmente, la papa en México es un cultivo de gran importancia debido a su valor nutrimental y económico. El objetivo del presente capítulo forma parte de una propuesta técnico-científica para desarrollar un modelo de transferencia tecnológica en la micropropagación eficiente de papa de alta calidad genética a través de técnicas de optimización y aclimatación in vitro para el cultivo de agricultores locales de la zona de Perote, Veracruz. Para ello, se presenta una metodología de cultivo in vitro para la producción masiva de cultivos bajo condiciones controladas con el propósito de evaluar el beneficio y componentes de rendimiento de papa a nivel de gabinete, a partir del cultivo de segmentos nodales como etapas necesarias para la producción de plantas madre y semilla libre de patógenos. El proyecto se encuentra en una etapa inicial, es decir, en la selección y preparación de tubérculos-semilla certificados, libres de patógenos por medio de la colaboración con un laboratorio dedicado a actividades agrícolas, ganaderas, silvícolas y pesqueras y dos institutos de educación superior del TECNM Campus Perote y Libres, Puebla. El estudio se llevará a cabo para su aplicación y evaluación con productores del municipio de Perote, ya que es el principal productor de papa en el estado de Veracruz. El generar la selección de los especímenes, permitirá documentar el proceso para que se lleve a cabo posteriormente la transferencia del paquete tecnológico con potencial de transformar el rendimiento y la competitividad del sector papero.

Palabras clave: Agrícola, cultivo, micropropagación, patología, plantas.

Introducción

La producción de papa en diversas regiones enfrenta desafíos significativos derivados de factores como la baja calidad del material vegetal utilizado, la propagación de enfermedades transmitidas por el suelo, y las limitaciones en el acceso a semillas de alta calidad. Esto ha generado una disminución en la productividad y en la rentabilidad de los agricultores, quienes dependen de este cultivo para su sustento económico y para satisfacer la demanda de un mercado cada vez más exigente en términos de calidad y volumen de producción. Referente a la siembra la superficie es de 22 millones de hectáreas (Ortiz-Zelaya et al., 2016). En cuanto a producción, el cultivo de papa

sólo es superado por el de jitomate o tomate rojo (*Lycopersicon esculentum* Mill) (Luque-Sainz, 2009).

En la trayectoria histórica se esbozan dos grandes períodos relacionados con el desarrollo del cultivo de la papa en México: de 1925 a 1954 y de 1955 a 1978. El primero, fue caracterizado como un período donde el crecimiento de la producción se consideró con base en las ampliaciones de la superficie bajo cultivo, pero acompañado de un lento incremento en el rendimiento físico por hectárea. El segundo, fue identificado por un elevado ritmo de crecimiento en la producción y también con incrementos anuales en el rendimiento físico por hectárea que significaron un rendimiento promedio 16 veces superior al obtenido en 1925. La agricultura de la papa constituye un cultivo importante por considerarse una fuente de alimentos y nutrientes para la humanidad (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2020). Particularmente en el año 2022 en México, la superficie cosechada fue de 60,102 hectáreas; con una producción de 1,878,976 toneladas, con un rendimiento de 31.27 ton/ha. y un valor de la producción de \$16,172,975.00 miles de pesos. De su producción nacional de 1,878,976 toneladas, el 29% de la producción se destina para la industria de las botanas, el 56% para el consumo en fresco y el 15% se producen bajo condiciones especiales para ser utilizada como semilla (CONPAPA, 2022).

Juntamente con lo señalado, en México la producción de papa cobra mayor importancia por ser un cultivo de alto valor agregado y por los empleos que genera de forma directa o indirecta, sobre todo en época de cosecha. Sin embargo, el mercado interno de consumo en fresco de la papa es bajo, a pesar de los beneficios nutricionales que aporta, esto es, de cada 100 g de papa cocida aporta: 1.5 g de proteínas, 0.1 g de grasa, 20 g de carbohidratos, 0.5 g de fibra, 4 mg de calcio, 30 mg de fósforo, 0.5 mg de sodio, 350 mg de potasio, vitaminas A, B, C. (Mejía y Castellanos, 2018). Además, la papa se consume en México de la siguiente manera: 56 % en fresco, 29% se destina a la industria, y 15 % se vuelve a reutilizar para la siembra del siguiente año. En su mayor parte la producción se dirige al mercado interno, 29,833 t se exportan y se importan 286 652 t según datos de la Confederación Nacional de Productores de Papa de la República Mexicana (CONPAPA, 2022, citado por Mejía y Castellanos, 2018).

Conviene subrayar que, la papa se cultiva en 23 Estados de la República mexicana, Sonora es el principal Estado productor de papa a nivel nacional con el 24.5 % del total, le sigue Sinaloa con el 17 %, Puebla con el 9.85 %, Veracruz con el 8.30% y hay otros Estados importantes como el Estado de México, Nuevo León, Chihuahua y Baja California Sur. El 29 % de la producción nacional de papa se destina a la industria, el 56 % es para consumo en fresco y el 15 % se utiliza para la producción de semilla (Haro, 2019).

De acuerdo con Bastilla Cañada (2020) en su publicación destaca los principales productores de papa en México durante el año 2020 fueron Sinaloa y Veracruz. Cabe destacar que estos estados representan el 61.5% de la producción nacional, por otra parte, los estados de Zacatecas, Guanajuato y Nuevo León obtuvieron el mayor rendimiento promedio con 45.1, 44.9 y 38.8 toneladas por hectárea. En 2020 el valor total de la producción nacional de papa fue de alrededor de 15,122 millones de pesos.

El consumo mundial de patatas está cambiando de consumirse frescas a productos alimenticios procesados con valor añadido. Uno de los principales artículos de esa categoría son las congeladas, incluidas la mayoría de las papas fritas que se sirven en restaurantes y cadenas de comida rápida a nivel mundial (Mordor Intelligence, 2019).

En definitiva, el cultivo de algunas variedades cobra relevancia por el valor comercial, por ejemplo, en estudios realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2022) la variedad FIANA, es líder del mercado actual y de doble propósito comercial; mercado fresco e industria de fritura en hojuela. Es importante describir que los métodos convencionales de propagación presentan desventajas debido a la acumulación de patógenos en las semillas, lo que compromete tanto el rendimiento como la resistencia de las plantas (López, et al., 2021). A su vez, el acceso a material certificado y libre de enfermedades resulta limitado para muchos pequeños y medianos productores, quienes carecen de los recursos económicos y técnicos para adoptar tecnologías de punta que permitan mejorar la calidad y cantidad de sus cosechas (González & Torres, 2020). Lo anterior, plantea la oportunidad de diseñar propuestas técnico-científicas que aborden las problemáticas a las que se enfrentan las condiciones agrícolas, a partir de paquetes tecnológicos dirigidos a los beneficiarios de la transferencia de conocimiento.

Al mismo tiempo, la demanda del mercado por variedades de papa con características específicas, como mayor resistencia a plagas, mejor adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y mayor rendimiento, impulsa la necesidad de adoptar nuevas tecnologías que permitan producir semilla de alta calidad de manera eficiente y sostenible (FAO, 2020).

Ante esta problemática, el método *in vitro* se presenta como una alternativa viable y técnicamente avanzada para la producción de semilla certificada. Este método permite la obtención de plantas libres de patógenos, garantizando la homogeneidad genética y mejorando la calidad del cultivo (Rodríguez, et al., 2019). Sin embargo, su implementación requiere de un paquete tecnológico que contemple no solo el proceso de micropropagación, sino también las condiciones de adaptación en el campo, los costos de producción y la capacitación técnica para los agricultores (Castro & Ramírez, 2021). En este sentido el objetivo de este trabajo es presentar una metodología para la optimización del cultivo *in vitro* como alternativa en la producción de semilla de papa libre de patógenos certificada.

Materiales y métodos

Para el desarrollar un modelo de transferencia tecnológica en la micropropagación eficiente de papa de alta calidad genética a través de técnicas de optimización se propone integrar el método *in vitro* como una solución efectiva a las necesidades de los agricultores de papa. Esta propuesta contempla el desarrollo de un paquete tecnológico que facilite la adopción de esta técnica, que sea accesible y adaptable a las realidades del sector agrícola, y que contribuya a mejorar la competitividad de los productores en el mercado, atendiendo a la creciente demanda de papa de calidad, libre de enfermedades y con altos rendimientos. Para llevar a cabo el modelo de transferencia una parte central es el desarrollo de una metodología optimizada para el cultivo de la papa, la cual la hemos dividido en este trabajo en dos grandes fases de estudio explicadas a continuación.

Primera etapa. La primera etapa contempla el análisis de gabinete de las condiciones actuales de producción y avances de siembras y cosechas 2024 a partir de estudios especializados que presenten de manera cuantitativa aquellas zonas de cultivo; además de un análisis de la oferta de

la papa y periodos de siembra, conjuntamente, con la selección de agricultores, esto es, se ha formalizado la colaboración con productores por medio del INIFAP ubicado en el Km. 2 de la Carretera Federal Perote-Teziutlán. Actualmente, cuenta con 18 hectáreas en total de suelo que mantiene una rotación de cultivos en su terreno, la incorporación de papa se plantea como un estudio experimental, delimitando 2500 m² que cada agricultor vinculado pueda canalizar para la siembra y control de la producción una vez transcurrido el lapso de cultivo, este, varía dependiendo de la variedad de papa, aunque, de acuerdo con las observaciones arrojadas en la entrevista inicial señalan que aproximadamente se encuentra entre 120 a 140 días.

Segunda etapa. Dentro de esta etapa se diseñará el análisis de laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales en la empresa “La Joya del Totonacapan”. Conviene señalar que, el proyecto se encuentra en una etapa inicial a partir del proceso de incubación de semillas de papa de la variedad Fiana que normalmente es propagada vegetativamente, lo anterior, con el propósito de desarrollar plántulas de papa a través de ensayos bajo condiciones de crecimiento durante aproximadamente 3 meses de incubación, a partir del inicio del estudio, las observaciones continuarán hasta determinar si las plantas están completas y sanas, a partir de meristemas, yemas axilares, segmentos nodales, raíces, tubérculos, protoplastos y células cultivadas.

El método de crecimiento *in vitro* es uno de los más usados y constituye una alternativa de las técnicas del cultivo de tejidos para mantener plántulas en mejores condiciones sanitarias. La papa es uno de los cultivos más estudiados y versátiles en los últimos años en la implementación de nuevos medios y técnicas de cultivo de tejidos. (Araque-Barrera et al., 2018) Con lo anterior, es posible evaluar el comportamiento para la propagación de plántulas y producción de microtubérculos de variedades de papa a partir de segmentos nodales obtenidos de tubérculos suministrados por el Laboratorio con semillas certificadas. Los protocolos que se encuentran iniciados y sin concluir, en el presente estudio permitirán la obtención masiva de plántulas y la producción de microtubérculos. De modo que, pueden ser cultivados bajo condiciones controladas para la producción de semilla prebásica.

De manera que, es importante establecer una descripción sobre las etapas en el cultivo *in vitro* de plantas, esta es una técnica de micropropagación que permite la reproducción en

condiciones controladas, lo cual, es especialmente útil para la propagación de especies difíciles de reproducir por métodos tradicionales. Enseguida, se describen los pasos detallados para el cultivo in vitro de plantas.

1. Selección y preparación del explante. Consiste en seleccionar la parte de la planta a utilizar como explante (es decir, un fragmento de tejido vegetal que puede incluir hojas, tallos o meristemos). Este tejido debe estar sano y libre de enfermedades (George et al., 2008).
2. Desinfección del explante. Proceso para eliminar microorganismos que podrían afectar el crecimiento de la planta in vitro. Se sumerge el explante en soluciones de hipoclorito de sodio al 1% o en alcohol etílico al 70% durante varios minutos, y se enjuaga con agua destilada estéril (Rout et al., 2006).
3. Preparación del medio de cultivo. El medio de cultivo contiene nutrientes, hormonas, vitaminas, y azúcares necesarios para el crecimiento del explante. En el cultivo de plantas, se utiliza comúnmente el medio Murashige y Skoog (MS), que proporciona todos los elementos esenciales para el desarrollo vegetal (Murashige y Skoog, 1962).
4. Inoculación en condiciones estériles. En un ambiente estéril, como una campana de flujo laminar, el explante desinfectado se coloca en el medio de cultivo en frascos o tubos estériles. Esto garantiza que no se introduzcan contaminantes durante el proceso de inoculación (Thorpe, 2007).
5. Fase de incubación y crecimiento. Los frascos o tubos con el explante inoculado se colocan en una cámara de crecimiento con condiciones controladas de luz, temperatura y humedad. En esta fase, el explante comienza a desarrollar brotes y raíces, dependiendo de las hormonas utilizadas en el medio de cultivo. El tiempo de incubación puede variar de 2 a 6 semanas (Hussein et al., 2013).
6. Subcultivo. Cuando los brotes alcanzan un tamaño adecuado, se realiza un subcultivo para transferir las plántulas a un medio fresco que favorezca su desarrollo. Este proceso puede repetirse varias veces hasta obtener el tamaño y la cantidad de plántulas deseadas (Hussey, 1983).
7. Aclimatación. Una vez que las plantas tienen raíces y han alcanzado un tamaño adecuado, se trasladan del ambiente in vitro a condiciones ex vitro, en donde se debe hacer una

adaptación gradual a la temperatura, humedad y luz exterior. La aclimatación es una fase delicada que puede durar varias semanas (Hartmann et al., 2014).

Lo señalado hasta aquí, es posible representarlo en la Tabla 1 y Figura 1, incluyendo tanto los pasos como los materiales y tiempos estimados para la realización de este tipo de estudios.

Tabla 1. Esquema de materiales y tiempos

Etapa			Materiales		Tiempo aproximado	
Selección del explante			Tijeras estériles, guantes, lupa		1 día	
Desinfección del explante			Solución de hipoclorito de sodio, alcohol etílico, agua destilada		1 hora	
Preparación del medio de cultivo			Medio MS, hormonas de crecimiento, agar, agua destilada		2 horas	
Inoculación			Campana de flujo laminar, bisturí, pinzas estériles		1 día	
Incubación y crecimiento			Cámara de crecimiento, tubos o frascos estériles		2 a 6 semanas	
Subcultivo			Pinzas, medio de cultivo fresco, campana de flujo laminar		2 horas por subcultivo	
Aclimatación			Bandejas de cultivo, sustrato, mini invernadero, regadera		2 a 4 semanas	

Fuente: Elaboración propia con base en George et al. (2008); Rout et al. (2006); Murashige & Skoog (1962); Thorpe, (2007); Hussein et al. (2013); Hussey (1983); Hartmann et al. (2014).

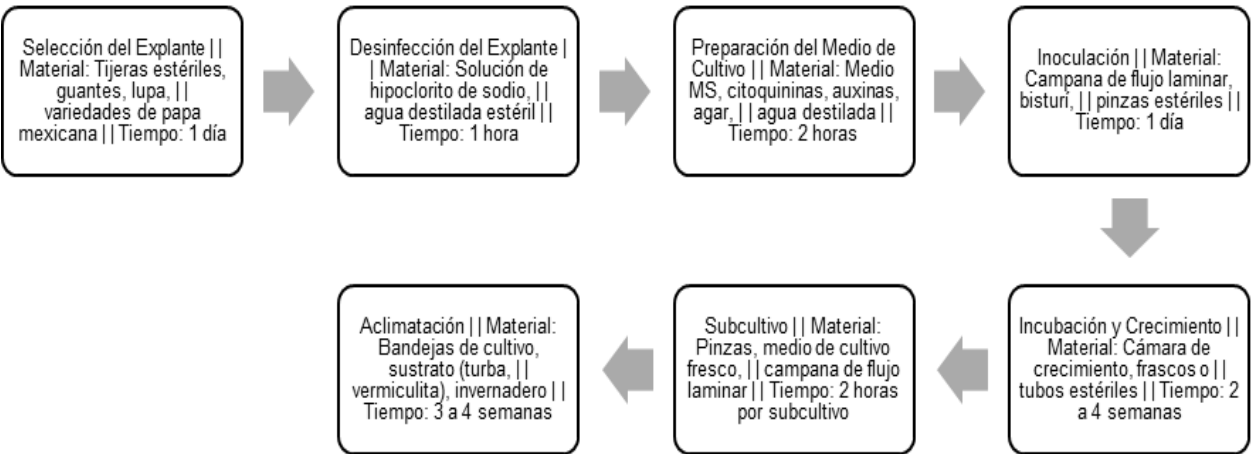


Figura 1. Esquema de pasos en el cultivo in vitro

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Los hallazgos preliminares están asociados al uso de métodos de ingeniería genética como el proceso *in vitro*, en contraste, con el cultivo tradicional determina que el crecimiento de plantas se encuentra en función directamente del suelo o de sustratos naturales, además del aire libre o en medios de invernaderos. Este método depende de las condiciones climáticas locales, por tanto, factores como el clima, la lluvia, las temperaturas extremas o la calidad del suelo pueden afectar considerablemente el rendimiento y la salud de los cultivos. Una ventaja del cultivo tradicional es que, a diferencia del cultivo *in vitro*, no requiere infraestructura altamente especializada, lo que lo hace más accesible en relación con los costos iniciales.

Análisis de gabinete. Fase 1. Siembras y cosechas de papa

Los avances de siembra registrados hasta septiembre del 2024 se encuentran principalmente de acuerdo con información proporcionada por los productores de papa de las diferentes zonas como el Edo de México, Morelos, Juchitepec, Tapalpa, Michoacán, y Oyameles. Conviene resaltar que, los periodos de cultivo varían durante el año a partir de sus características geográficas, uso de suelo, temporal, entre otros factores que determinarán la variedad de papa y su siembra.

De acuerdo a los censos asociados a los grupos de agricultores en los estados productores, beneficiarios directos del paquete tecnológico, son el grupo de impacto de los resultados de producción de papa por el método *in vitro* en relación al rendimiento y costos por fertilización con semillas de primera generación o certificadas, la cual, pretende beneficiar a los productores del estado de Veracruz principalmente, concentrándose en la región del Valle de Perote, ya que ofrece condiciones ideales de suelo y clima para este cultivo.

De manera que, al no contar con tubérculos-semillas generados por el establecimiento, multiplicación y enraizamiento de segmentos nodales en el cultivo *in vitro*, no se cuenta con datos estadísticos al corte de la presente divulgación, esto es, aún no se tiene el material de genotipos de papa para ser cultivada por agricultores en el segundo semestre del año 2024, por tanto, esta etapa se encuentra en proceso de seguimiento y monitoreo a nivel de laboratorio. Es importante describir que el agricultor debe preparar su tierra con un periodo aproximado de 15 días de anticipación para realizar posteriormente la siembra en las parcelas correspondientes, por lo cual,

es necesario contemplar la delimitación de la extensión territorial mínima para realizar el análisis de las plantas muestra respecto a las semillas de segunda, tercera o cuarta generación.

A continuación se presentan, las actividades asociadas a la segunda fase de la propuesta técnico científica, lo descrito permitirá documentar los reportes técnicos-estadísticos en el periodo de cultivo, para posteriormente entregarse un lote de semillas-plantas certificadas en el terreno experimental por los agricultores, aplicando de manera general los fertilizantes en el manejo del mismo, al mismo tiempo, el seguimiento y control de su crecimiento por parte del equipo de trabajo hasta su cosecha, midiendo aspectos como plántulas desarrolladas, tallo, tamaño, peso, entre otras variables.

Análisis de laboratorio. Fase 2. Pruebas en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales

Los ensayos se realizarán en conjunto con el Instituto Tecnológico Superior de Perote y el Instituto Tecnológico Superior de Libres, a partir de tubérculos-semilla certificados de las variedades de papa suministradas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), en materia de control de la inocuidad se han desarrollado cultivos *in vitro* conforme a las necesidades agrícolas con mayor demanda, considerando parámetros de difícil control tales como la contaminación de los cultivos, presencia de agentes patógenos entre otros factores internos/externos que colaboran a su utilización. Para el desarrollo de esta propuesta se partió desde una recolección de información en distintas bases de datos confiables y científicas sobre el cómo desarrollar los cultivos *in vitro* de la papa, a partir de tubérculos-semilla certificados de las variedades de papa teniendo así las siguientes etapas de desarrollo.

Etapas 1: Selección y preparación

Selección de material vegetativo. Para obtener los explantes en condiciones adecuadas se emplearán tubérculos de papa, producidos bajo condiciones de invernadero, las cuales serán sometidas a temperaturas de 4 a 6°C mediante un periodo de refrigeración de 10 días para romper la dormancia y estimular el desarrollo de yemas axilares, las cuales, posteriormente serán lavadas y desinfectadas basados en (Ortiz, 2015)

Desinfección del explante. Los meristemos obtenidos serán desinfectados utilizando agua y jabón, lavándolos por aproximadamente diez minutos, posteriormente realizar una nueva desinfección con alcohol al 70% durante cinco segundos, esto para no dañar el material vegetal seleccionado. Finalmente, se deja reposar en cloro dando tres enjuagues y quitar el exceso de esta sustancia, con un enjuague con agua destilada.

Etapas 2. Diseño experimental; preparación de la siembra y manejo adecuado del material vegetal

La propuesta para el diseño experimental está contemplada para realizar un boceto completamente al azar con cinco tratamientos y ocho repeticiones con la variedad elegida, considerando un total de 40 unidades experimentales, con tratamientos diferentes relaciones en el medio de cultivo, procesándose con un análisis de varianza a través de un programa estadístico. Posteriormente a la propagación de las yemas axilares de tubérculos de papa, se dispone del material libre de patógenos para realizar la nueva siembra con las diferentes concentraciones de reguladores del crecimiento.

Al establecer el experimento, se considera dejar hasta que los explantes se encuentren en el medio y comenzar a realizar las mediciones de los parámetros para realizar el análisis de cambios morfológicos que presentaron los explantes de papa. (Ortiz, 2015). Concretamente, en la figura 1 es posible observar un esquema de la metodología empleada para preparar los tratamientos para el manejo experimental del material vegetativo y resultados estadísticos generados de la variedad de papa elegida.

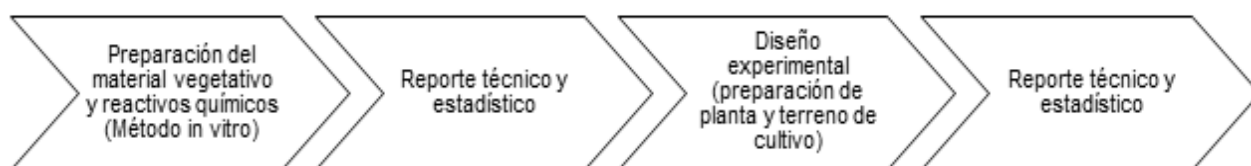


Figura 2. Esquema metodológico empleado para el desarrollo experimental

Fuente: Elaboración propia.

Para la preparación del medio de cultivo se mezclarán todas las sales; macronutrientes: Nitrato de amonio (NH_4NO_3), nitrato de potasio (KNO_3), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), y sulfato de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y micronutrientes: Sulfato de hierro

($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), sulfato de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cloruro de cobalto ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), y molibdato de sodio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), así como, vitaminas y azúcares, se ajustará el PH que generalmente se ajusta entre 5.7-5.8 antes de esterilizarlo, utilizando hidróxido de sodio y/o ácido clorhídrico a 1N. Durante el experimento se prepararán dos tipos de medio, el de Proliferación que contiene 30 gr de sacarosa y el de Tuberización que contiene 80 gr de sacarosa.

Se procederá a seleccionar las plantas que presentarán uniformidad en tamaño, llevándolas a la cámara de flujo laminar, previamente esterilizada, donde se seleccionarán en nudos de 1 cm de longitud tomadas de la parte media de las plantas, desprovistas de la yema apical, hojas y raicillas.

La implantación aséptica se realizará en diferentes medios de cultivo. Además, es necesario una desinfección con una solución de hipoclorito de sodio al 2% los Kitasato, mangueras de silicona y tapas; posteriormente, se enjuagaron tres veces con agua destilada y se procederá a armar los biorreactores. Para la fase inicial (proliferación) en uno de los Kitasato se agregaron 10 ml de medio de cultivo líquido y en el otro 90 ml, fueron tapados los Kitasato y esterilizados los biorreactores en autoclave por 40 minutos a 121 °C y 1.5 lb de presión.

Para la fase de tuberización se prepara Kitasato conectados a filtros hidrofóbicos y se agregaron 100 ml de medio de tuberización, fueron tapados con un pedazo de papel aluminio y esterilizados en autoclave por 40 minutos a 121 °C y 1.5 lb de presión.

Etapas 3. Establecimiento

En el establecimiento del cultivo in vitro se elegirán segmentos de hojas, nudos y entrenudos jóvenes, los cuales son cultivados en medio de cultivo de sacarosa y un pH de 5.8 con la combinación de diferentes hormonas. Los explantes cultivados son incubados en oscuridad y a una temperatura de 21 °C, por el lapso de 24 días.

Etapas 4. Multiplicación y enraizamiento de segmentos nodales

Para el desarrollo de las raíces y su multiplicación serán colocadas en medio del cultivo con las diferentes concentraciones de 0.01, 0.05 y 0.1 mg, sin reguladores de crecimiento por el lapso de

20 días para la determinación de la apariencia de las raíces en los segmentos nodales (Araque-Barrera et al., 2018).

Etapas 5. Microtuberización

En esta etapa, se considera como un marco de referencia la investigación de (Araque-Barrera et al., 2018) titulada “Propagación y tuberización in vitro de dos variedades de papa” para emplear micro esquejes enraizados, mismos que, serán sembrados en medio de cultivo en estado semisólido acompañado de diferentes concentraciones, en esta etapa es necesario resaltar que los cultivos in vitro deben de estar sin reguladores de crecimiento en fotoperiodo de 16 horas de luz blanca fluorescente o también en completa oscuridad, todos estos a una temperatura de 24 °C por el lapso de 90 días. Es conveniente señalar que, se propone para esta etapa la reproducción in vitro o micropropagación que se originan en estructuras aéreas de la planta, aunque algunos pueden formarse en el medio de cultivo, y por consiguiente, puede tomarse fracciones de plantas y con la adición de productos químicos se logra que éstas sean desarrolladas como una planta nueva dentro de frascos de vidrio, tomando en cuenta que se puede lograr en corto tiempo la obtención de grandes cantidades de plántulas de alta calidad, libres de virus, plagas y enfermedades y que garanticen elevados rendimientos. En la presente etapa se espera concluir con la transferencia tecnológica a agricultores locales de papa, sea de la variedad elegida u otra de interés comercial o productivo.

Conclusiones

De acuerdo con la literatura revisada el proceso de cultivo *in vitro* y el cultivo tradicional presentan diferencias notables. Mientras que el cultivo tradicional sigue siendo la opción más común en la agricultura debido a su accesibilidad y costo, el cultivo *in vitro* ofrece ventajas significativas en términos de control, velocidad de producción y posibilidades de mejora genética. En el cultivo tradicional, las plantas están expuestas a amenazas desde el principio, lo que puede hacerlas más susceptibles a enfermedades y plagas sin intervención externa. La implementación de técnicas avanzadas como la aclimatación in vitro de variedades de papa adaptadas a las condiciones locales puede ofrecer soluciones efectivas para superar estos retos.

Las tecnologías de cultivo in vitro permiten seleccionar y producir plantas más resistentes al estrés hídrico y a las variaciones climáticas, así como mejorar la resistencia a enfermedades y plagas comunes en la región. Esta optimización del proceso productivo no solo incrementa los rendimientos por hectárea, sino que también reduce los costos asociados al manejo de insumos agrícolas, haciendo la producción más eficiente y sostenible.

En términos de competitividad, las innovaciones tecnológicas ofrecerán a los agricultores de Perote optar por una mejor posición frente a los mercados locales y nacionales. Al producir papas de mayor calidad y con menores costos de producción, los agricultores pueden acceder a mejores precios y competir eficientemente con otras regiones productoras teniendo la posibilidad de contar con una mayor diversidad de variedades adaptadas a diferentes nichos de mercado amplía sus oportunidades comerciales, tanto a nivel interno como en posibles exportaciones.

Referencias

- Araque-Barrera, E. J., Bohórquez-Quintero, M. de los A., Pacheco-Díaz, J. E., Correa-Mora, L. Y., Urquijo-Ruiz, J. S., Castañeda-Garzón, S. L., & Pacheco- Maldonado, J. C. (2018). *Propagación y tuberización in vitro de dos variedades de papa. Revista Ciencia en Desarrollo*, 9(1), 21-31 <https://doi.org/10.19053/01217488.v9.n1.2018.7132>
- Castro, L., & Ramírez, P. (2021). *Micropropagación de cultivos: Aplicaciones y avances en la agricultura*. Editorial Científica Agro.
- Confederación Nacional de Productores de Papa de la República Mexicana [CONPAPA] (2022). *Papa fresca mexicana*. CONPAPA <https://www.conpapa.org.mx/index.php/el-sector-papa-mexicano>
- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G. J. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture*. The Background. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3>
- González, M., & Torres, R. (2020). *Desafíos y oportunidades en la producción de semilla de papa en América Latina. Revista de Ciencias Agrícolas*, 45(2), 123-135.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2014). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Pearson Education.
- Hussey, G. (1983). In vitro propagation of monocotyledonous bulbs and corms. *Acta Horticulturae*, 131, 217–228.

- Hussein, N., Noga, G., & El-Sharkawy, I. (2013). Protocol for micropropagation and in vitro conservation of rare Egyptian plant. *Environmental Biotechnology*, 9(2), 124-135.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] (2022, 11 marzo). *Producción de semilla de papa de variedades INIFAP para la industria*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/prensa/produccion-de-semilla-de-papa-de-variedades-inifap-para-la-industria-296707>
- Luque-Sainz, E. D. (11 de noviembre de 2009). *Variedades de papa*. Fundación Produce Sinaloa.
- López, A., Pérez, J., & Hernández, S. (2021). Control de enfermedades en cultivos de papa mediante técnicas biotecnológicas. *AgroCiencia*, 12(3), 78-89.
- Mejía, G., & Castellanos J. (2018). Costos de producción y rentabilidad del cultivo de la papa en Zacapoaxtla, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1651-1661. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Mordor Intelligence (2019). *Tamaño del mercado de patatas y análisis de participación, tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Mordor Intelligence.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2020). *Innovaciones tecnológicas en el cultivo de la papa*. FAO. <https://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2020/es/>
- Rodríguez, C., Fernández, V., & Díaz, M. (2019). Métodos in vitro para la producción de semilla de papa libre de patógenos. *Boletín de Investigaciones Agrícolas*, 8(1), 45-58.
- Rout, G. R., Samantaray, S., & Das, P. (2006). In vitro manipulation and propagation of medicinal plants. *Biotechnology Advances*, 24(6), 581-605. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00026-9)
- Thorpe, T. A. (2007). History of plant tissue culture. *Journal of Plant Biotechnology*, 32, 23-32. <http://dx.doi.org/10.1007/s12033-007-0031-3>
- Ortiz, S. F. (2015). *El cultivo in vitro de Papa (Solanum tuberosum) con diferentes proporciones de auxina/citocinina*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ortiz-Zelaya, M. I., Zeledón-Rodríguez, J. E., Aguilar-Maradiaga, M. D., & Cruz-Cardona, R. Y. (2016). Producción de microtubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivar burren, en biorreactores económicos de inmersión temporal. *Revista científica La Calera*, 16(27), 75-80. <https://doi.org/10.5377/calera.v16i27.6005>

Rosa María Arias Mota¹, Daniela Jasbeth Santiago Acosta², Yadeneyro de la Cruz Elizondo³, Laura Celina Ruelas Monjardín²

Acosta², Yadeneyro de la Cruz Elizondo³, Laura Celina

Ruelas Monjardín²

³Facultad de Biología-Xalapa, Universidad Veracruzana.

Resumen

La transferencia de tecnología hace referencia a la distribución de ciencia y tecnología en actividades humanas con el fin de que sean accesibles a un mayor número de usuarios. Actualmente, la producción de café en Jilotepec, Veracruz, enfrenta grandes desafíos como la baja disponibilidad de nutrientes, la incidencia de enfermedades como la roya y la crisis por el bajo precio del aromático. En este sentido, el uso de las micorrizas influye positivamente en la dinámica de nutrientes y en el desarrollo de las plantas de café. En este trabajo, la transferencia de tecnología se basó en un programa de capacitaciones teóricas/prácticas mensuales a los cafetaleros. Entre los temas, se abordó la importancia ambiental y económica del uso de las micorrizas nativas, se incluyeron además sesiones sobre el aislamiento y multiplicación de micorrizas mediante plantas trampa. En la propagación de las esporas de las especies detectadas se utilizaron macetas con suelo de cafetales de Jilotepec y plantas de cebollín como trampa. Después de nueve meses en el invernadero se corroboró que la planta trampa utilizada es altamente eficiente debido a que permitió la multiplicación de un alto número de esporas y una alta colonización en las raíces. La intención es generar un sustrato con micorrizas que utilicen los cafecultivos para producción de plantas de café. Estos ensayos se realizaron en colaboración con los productores, los cuales mostraron una alta participación e interés, lo que permitió lograr con éxito la transferencia de tecnología en un proyecto integral desarrollado bajo un enfoque práctico colaborativo.

Palabras clave: Cebollín, hongos micorrícicos arbusculares, plantas de café, reproducción.

Introducción

La agricultura sostenible es un pilar fundamental para el desarrollo económico y la conservación del suelo y agua. En este contexto, el uso de bioinoculantes fúngicos, especialmente las micorrizas, emergen como una estrategia prometedora para mejorar la producción agrícola de manera sustentable. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son reconocidos por su capacidad para formar simbiosis mutualistas con las raíces de las plantas, lo que resulta en beneficios significativos para el crecimiento y la salud de estas. El café, una planta altamente micotrófica, los HMA no sólo mejoran la absorción de nutrientes esenciales como el fósforo, también incrementan

la resistencia de las plantas a patógenos y enfermedades, y facilitan la adaptación durante el trasplante de vivero al campo (Hernández-Acosta et al., 2021). Además, juegan un papel crucial en la tolerancia al estrés hídrico, ya que mejoran la estructura del suelo. La presencia de las micorrizas en el café fue reportada en 1897 por Janse, a partir de ahí, un gran número de estudios han confirmado su importancia (Siqueira et al., 2007; Muleta et al., 2007; Arias et al., 2012; Bertolini et al., 2020). En México se han reportado 15 especies asociadas al café (Trejo et al., 2021; Arias et al., 2012; Bertolini et al., 2020); a pesar de su relevancia no existe a la fecha en México un bioinoculante HMA nativo de cafetales. En países como Brasil y Cuba han desarrollado diferentes tecnologías de manejo de las asociaciones micorrícicas para la producción de café, proporcionando excelentes resultados.

Los HMA, al ser simbioses obligados, no pueden ser cultivados en ausencia de raíces, por lo cual el uso de cultivos con plantas trampa que cuenten con sistemas radiculares extensos representa una estrategia novedosa para producir inóculo a gran escala. Esta técnica se vislumbra como una buena opción para producir un gran número de esporas viables. Sin embargo, el desarrollo de los cultivos trampa requiere de un estricto cuidado, ya que diversos factores pueden impedir la propagación de todas las especies presentes en el inóculo inicial. Estos factores pueden ser el tipo de suelo o sustrato, la manipulación de los cultivos y las especies de plantas trampas empleadas para propagar los HMA (Pérez, 2012; Siqueira et al., 2007; Posada et al., 2018). Para la propagación de HMA con plantas trampa se ha utilizado maíz (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), cempasúchil (*Tagetes erecta*), cebollín (*Allium schoenoprasum*) y diversas gramíneas, las cuales han demostrado ser exitosas en la multiplicación y promoción tanto de las esporas, como de la colonización micorrícica (Robles-González et al., 2023).

El café es un cultivo de gran importancia económica y social en Jilotepec, Veracruz; sin embargo, los productores de café enfrentan desafíos significativos que afectan la salud de las plantas, el rendimiento y la calidad del café producido. Entre estos desafíos se encuentran las enfermedades del suelo, la baja disponibilidad de nutrientes y la creciente presencia de patógenos. La utilización de los HMA se presenta como una alternativa potencial para abordar estos problemas debido a que estos microorganismos pueden establecer una relación simbiótica

con las raíces de las plantas y mejorar la nutrición, así como el crecimiento de las plantas de café, incidiendo en un aumento en el vigor y rendimiento del cafeto.

La adopción del HMA podría generar impactos positivos en la economía local al aumentar los rendimientos y la calidad del café; esto conlleva a menores costos de producción, mayores ingresos para los agricultores, una mayor estabilidad económica y potencialmente una mejora en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad de Jilotepec, Veracruz. Este trabajo se planteó con el objetivo de generar una transferencia de tecnología hacia los cafetaleros de Jilotepec para la propagación de HMA mediante el uso de plantas trampa. Paralelamente se analizó la riqueza de los morfotipos de esporas de los hongos micorrícicos arbusculares presentes en el suelo de la finca “La barraca” y se determinó la efectividad de las plantas trampa cebollín (*Allium schoenoprasum*) en la propagación de los HMA nativos de los cafetales.

Metodología

Capacitaciones a productores de café de Jilotepec, Veracruz

Se llevó a cabo la planificación y ejecución de programas de capacitación destinados a los productores agrícolas. Estas sesiones fueron realizadas con el fin de orientar a los productores cafetaleros sobre las técnicas para la reproducción de HMA de sus fincas mediante el uso de plantas trampa. Inicialmente se impartieron dos talleres en el mes de julio 2023 con información básica sobre las micorrizas y su importancia en el cultivo de café. Asimismo, se explicó sobre los beneficios del uso de las micorrizas como biofertilizantes y su relevancia tanto ambiental como económica. Por otra parte, mediante el desarrollo de un taller práctico en el mes de enero 2024, pudo mostrarse las técnicas de aislamiento de las esporas de los HMA y realizar observaciones al microscopio de las esporas y las raíces micorrizadas. Tras la instalación de un pequeño invernadero, fue diseñado un taller demostrativo en el mes de febrero 2024 sobre la técnica de trampeo de esporas de HMA en las plantas de cebollín y la germinación de las plántulas de café, las cuales se colocaron en el sustrato con el bioinoculante fúngico. En mayo (2024) se explicó y demostró el corte de las plantas para la obtención del sustrato donde se transfirieron las plántulas de café. En total se realizaron 5 talleres.

Para la propagación de los HMA se siguió la siguiente metodología:

A) Recolección de muestra de suelo

Se seleccionó la finca La barranca, ubicada en Jilotepec, Veracruz ($19^{\circ}36'12.15''$ $96^{\circ}54'44.91''$ 1636 msnm) y se extrajo suelo rizosférico de plantas de café a una profundidad de 0-20 cm (Figura 1). Posteriormente, el suelo recolectado fue sometido a un proceso de secado y tamizado al aire libre.



Figura 1. Recolección de muestras de suelo a) Finca cafetalera de Jilotepec, Veracruz, b) Toma de muestra de suelo.

*B) Ensayo con plantas trampa (*Allium schoenoprasum*)*

Se llenaron macetas de 2 kg con suelo de cafetal y perlita en una proporción 2:1. Mediante la colocación de 10 bulbos de cebollín (*Allium schoenoprasum*) por maceta como planta trampa fueron mantenidas durante seis meses en el invernadero. El riego se realizó cada tercer día con solución nutritiva Hewitt sin fósforo. Al finalizar el experimento se suspendió el riego y realizado el corte de las plantas para efectuar el conteo de las esporas y cuantificar el porcentaje de micorrización (Figura 2).



Figura 2. Establecimiento del ensayo con plantas trampa. a y b) Siembra de bulbos de cebollín en suelo de cafetales, c) Plantas de cebollín de 3 meses

C) Aislamiento y conteo de esporas de hongos micorrícicos arbusculares

El aislamiento se realizó mediante la técnica de tamizado húmedo y decantación, descrita por Gerdemann y Nicholson (1963) seguida de la técnica de flotación en azúcar propuesta por Walker (1997). Para esto, se tomó una muestra de 50 gramos de suelo se pasó a través de una secuencia de tamices Tyler con aberturas de 750, 250, 150, 50 μm y 0.054 μm . El remanente del último tamiz se sometió a centrifugación durante 5 minutos (2500 rpm), se desechó el líquido sobrante y al sedimento se le añadió sacarosa al 70%. La muestra se centrifugó (2000 rpm) durante 1 minuto. El líquido resultante se vertió sobre el tamiz de 0.054 μm y se enjuagó para eliminar la sacarosa. La muestra se dispuso en una caja Petri con una micropipeta (0.5–10 μl) y se colocó bajo al microscopio estereoscópico para la extracción, conteo e identificación de las esporas de los HMA (Figura 3).

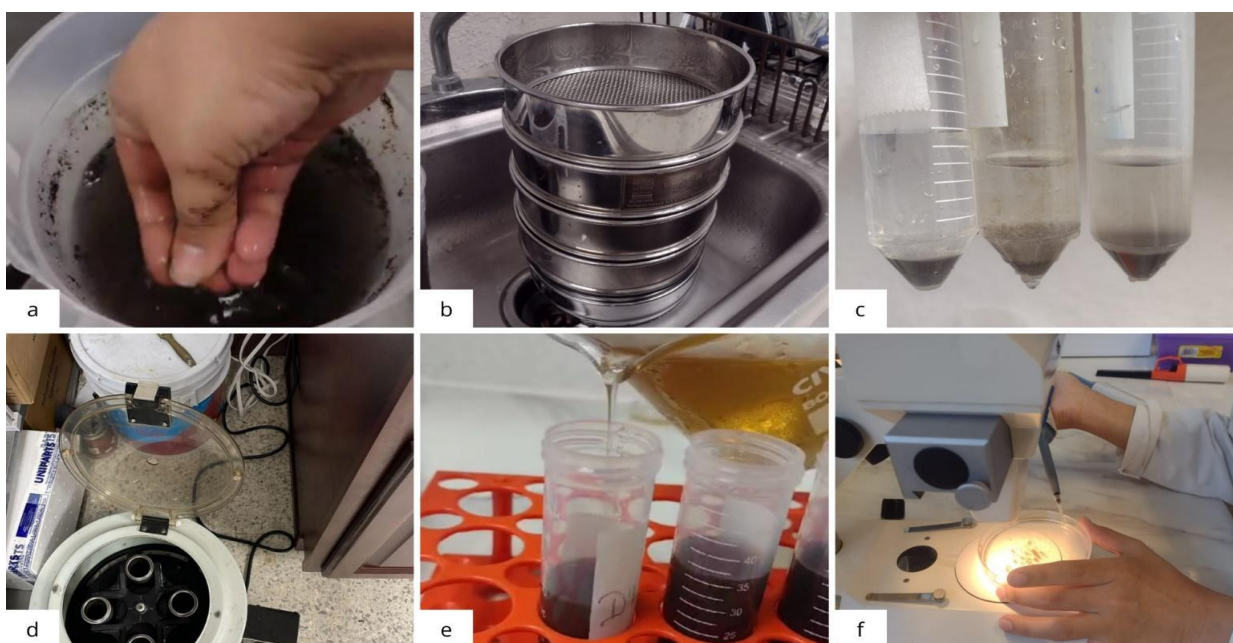


Figura 3. Aislamiento y conteo de esporas de HMA a y b) lavado del suelo en tamices, c) muestra se suelo lavada d) centrifugación de muestras, e) muestras con sacarosa, f) extracción de esporas bajo el estereoscopio

D) Porcentaje de colonización de las plantas trampa

Después de tres y seis meses en el invernadero se cortaron las raíces de las plantas trampa (*Allium schoenoprasum*) para medir la colonización micorrícica. Para ello, primeramente, fueron sometidas a un proceso de clareo y tinción (Phillips y Hayman, 1970). Se cortaron las raíces en

segmentos de aproximadamente 1 cm., se sumergieron en KOH al 10 %, colocándose durante 3-5 minutos en un método de calentamiento llamado baño maría. Se eliminó el KOH y se lavaron las raíces con agua. Las raíces lavadas se trataron con HCL al 0.1N durante 3 minutos en baño maría. Posteriormente, fue añadido azul de tripano al 0.05 % y se continuó el proceso en baño maría por 10 minutos adicionales, esto para retirar el excedente del colorante y las raíces se conservaron en lacto glicerol para su posterior evaluación de la colonización. Para determinar el porcentaje de colonización micorrícica en las raíces de las plantas, se aplicó el método desarrollado por Giovannetti y Mosse (1980). Para ello, fue necesario distribuir al azar una muestra de 1 a 5 g de segmentos de 1 cm de longitud de raíces teñidas sobre una caja petri. Con la ayuda de un estereoscopio, pudo visualizarse las intersecciones de las raíces con las líneas de la cuadrícula. Se cuantificaron las intersecciones con raíces micorrícicas y aquellas con raíces no micorrícicas. Por último, fueron realizadas 100 intersecciones, primero con las líneas verticales y luego con las líneas horizontales (Figura 4). Posteriormente, se determinó el porcentaje de micorrización utilizando las siguientes fórmulas:

$$\frac{\text{Intersecciones positivas verticales}}{\text{Intersecciones totales verticales}} + \frac{\text{Intersecciones positivas horizontales}}{\text{Intersecciones totales horizontales}} \div 2 =$$

$$\frac{\text{Intersecciones positivas}}{\text{Intersecciones totales}} \div 100$$

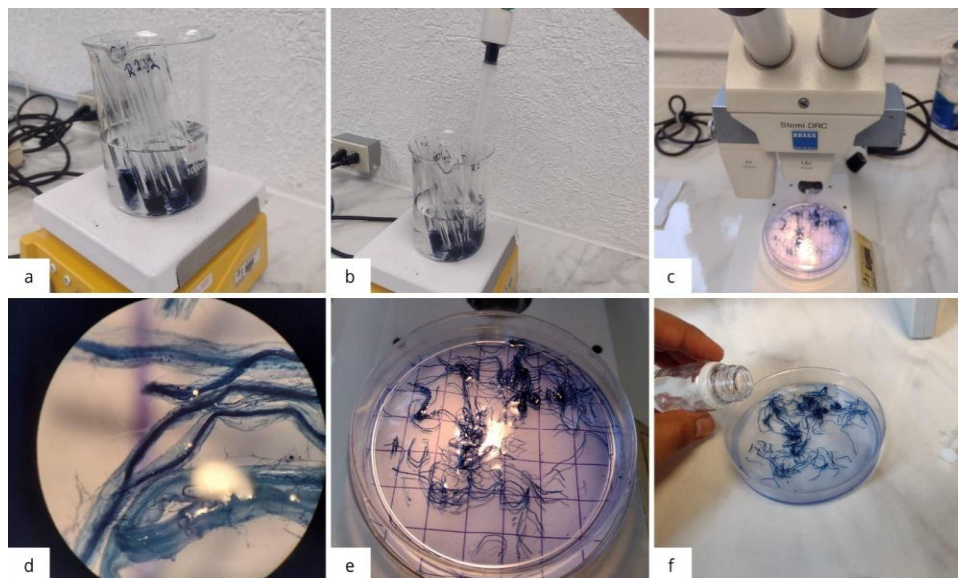


Figura 4. Porcentaje de colonización micorrícica. a y b) clareo y tinción de las raíces c) observación al estereoscopio de raíces d) raíces teñidas e y f) raíces en placa con cuadrícula para el conteo

E) Germinación de plántulas de café

Para llevar a cabo la germinación del café, se empleó la técnica de los areneros. Primero, se tamizó la arena, dejándose extendida al sol. Luego, se colocó en rejas de plástico con hule, el cual tenía agujeros para permitir el drenaje de agua por si había un exceso de esta. Una vez dispuesta, fueron realizados surcos en la arena. Los granos de café se seleccionaron y colocaron en línea central, con la parte plana de la semilla hacia abajo, de forma recta en los surcos. Posteriormente, se cubrieron las semillas y regaron hasta que la arena estuviera muy húmeda, dejándose por 60 días en el invernadero ubicado en el Huerto Agroecológico de la facultad de Biología-Xalapa, de la Universidad Veracruzana (Figura 5).



Figura 5. Germinación de plántulas de café. a) aireación de arena, b) surcos para colocar semillas seleccionadas, c) colección de semillas para su germinación, d) semillas colocadas en los surcos, e) semillas de café cubierta por la arena

Resultados

Capacitación a productores de café de Jilotepec, Veracruz

La interacción directa entre los productores y el equipo del proyecto resultó ser un factor crucial para el éxito del trabajo; esta interacción no solo fortaleció las relaciones, también permitió una comprensión más profunda de las temáticas. La dinámica de los talleres prácticos facilitó la

participación de los productores, lo que resultó en una mejor comprensión y retención de la información presentada. En la última sesión destacó el interés de los productores de café por aplicar esta técnica de propagación de los HMA nativos de los cafetales y la posibilidad de generar su propio biofertilizante y de esta manera reducir el uso de agroquímicos. Asimismo, mostraron interés por producir café orgánico y obtener un mejor precio de su producto.

En los talleres impartidos participaron 17 productores en promedio, en la tabla 1 se concentra información sobre la temática abordada en los talleres, el objetivo general y las observaciones obtenidas de los productores en cada taller. En la figura 6 se presentan evidencias fotográficas de las reuniones y actividades realizadas.

Tabla 1. *Talleres impartidos a los productores de café de Jilotepec, Veracruz*

Temática	Participantes	Objetivo general	Observaciones
¿Que son las micorrizas? Características y los beneficios que aportan al suelo y a las plantas.	15	Dar a conocer la importancia de las micorrizas en la cafecultura.	Se observó una gran participación de los productores y manifestaron sus dudas.
Uso de las micorrizas como biofertilizantes y su importancia en la productividad del café.	17	Explicar el potencial que tienen las micorrizas como bioinoculantes en la producción de café.	Los productores se mostraron muy interesados y compartieron algunas experiencias sobre el uso de las micorrizas y de productos orgánicos.
Aislamiento de esporas de HMA.	17	Detallar la técnica de extracción de esporas de los HMA por medio de tamices y observación bajo el microscopio estereoscópico	Durante este taller, la participación de los productores fue muy activa y entusiasta.
Tecnología de trapeo de HMA con plantas trampa	20	Enseñar la técnica de trapeo de esporas de HMA en las plantas de cebollín y la germinación de las plántulas de café.	Los productores de café compartieron conocimientos y técnicas utilizadas para la germinación de semillas de café y comentaron su interés por montar esta técnica en sus fincas.
Preparación de sustrato con HMA nativas	17	Proporcionar información sobre la manera de cortar las plantas trampa, preparar el sustrato y transferir las plántulas de café.	Los productores expresaron sus dudas respecto a la preparación de sustrato de manera masiva. Aunque mantienen el interés por adoptar esta tecnología.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6. Talleres participativos con los productores de café. e-f) Equipo de trabajo y cafetaleros participantes, g) Plantas de cebollín de 6 meses, h) Transferencia de plántulas de café a sustrato con micorrizas.

Morfotipos de esporas de HMA del suelo de cafetales de Jilotepec, Veracruz.

Se identificaron 16 morfotipos de esporas de hongos micorrícicos arbusculares (HMA), distribuidos en cinco géneros: *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Cetraspora* y *Diversispora*. El género *Glomus* demostró ser el más abundante y diverso (Figura 7).

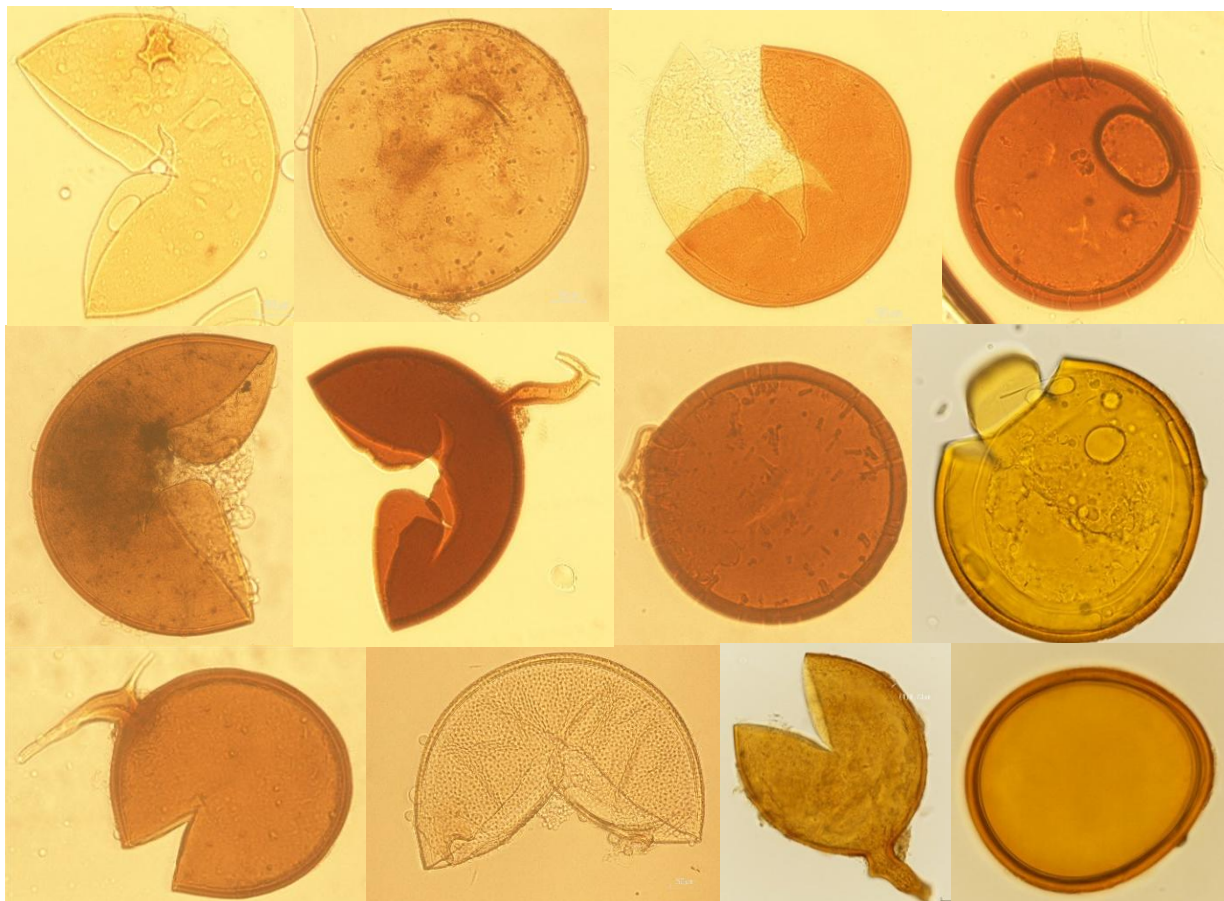


Figura 7. *Diversidad de Morfotipos de esporas de HMA nativos de cafetales*

Abundancia de esporas de los HMA

La abundancia de esporas aumentó significativamente ($p > 0.05$) entre los tres muestreos (inicial, tres meses y seis meses) tras la propagación en las plantas trampa de cebollín. El número de esporas inicial fue de 176 esporas/50 gr suelo, para el muestreo dos (tres meses) aumentó a 1204 esporas/50 gr suelo y en el muestreo tres (después de seis meses) de establecido el ensayo, se contabilizaron 2214 esporas/50 gr suelo después de su inoculación (Figura 8).

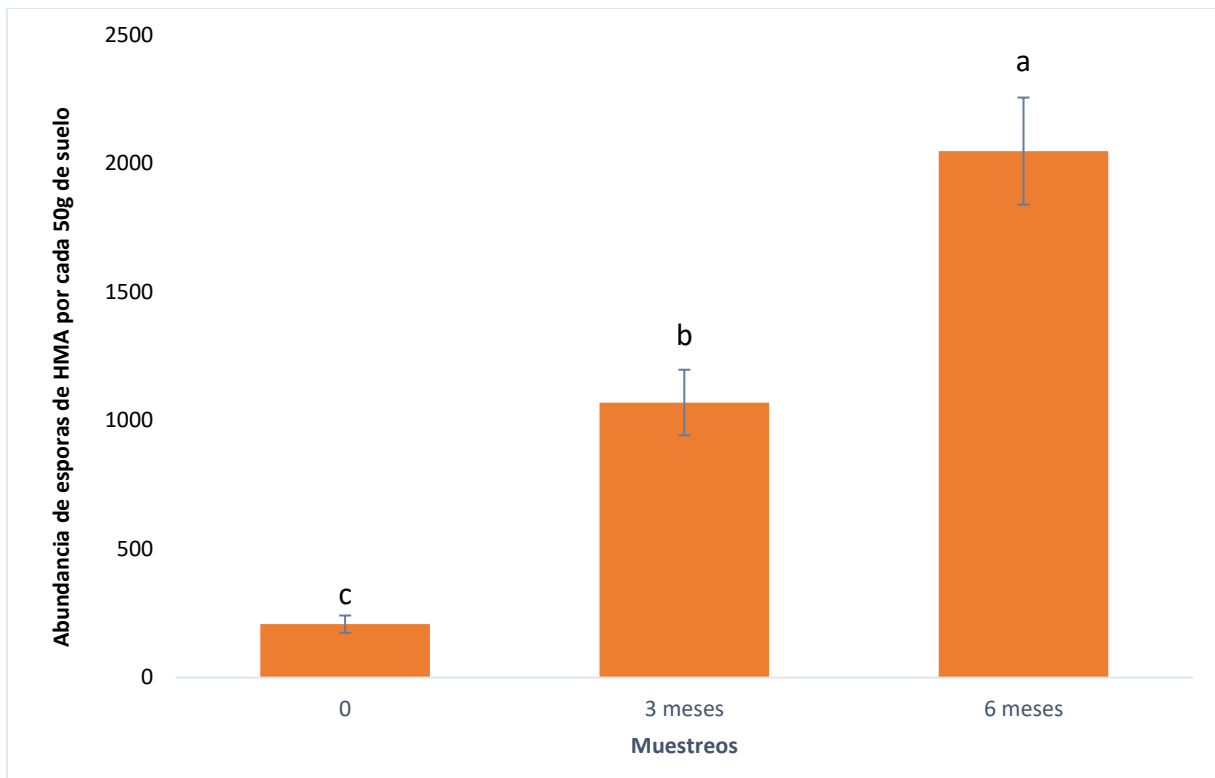


Figura 8. Abundancia de esporas de HMA inicial (M1), después de tres meses (M2) y después de seis meses (M3) de propagadas en plantas trampa de cebollín (*Allium schoenoprasum*). Los datos son el promedio de cinco repeticiones $\pm$ la desviación estándar. Las letras diferentes indican que hay diferencias significativas al contrastar con las pruebas de medias con Tukey ($p \geq 0.05$)

Porcentaje de colonización micorrícica de las plantas trampa (*Allium schoenoprasum*)

Se observaron estructuras características de la colonización micorrícica de los HMA, tales como hifas, vesículas, arbuscúlos y esporas dentro de las raíces de las plantas trampa (*Allium schoenoprasum*) en cada uno de los muestreos realizados (inicial, tres y seis meses). Los valores de los porcentajes de colonización micorrícica de las plantas trampa aumentaron de manera significativa ($p < 0.05$) entre los muestreos. Para el tercer muestreo (seis meses) la micorrización alcanzó valores del 77.7 %. De acuerdo con la categorización establecida por Kormanik y McGraw (1982), que definen cinco grados de colonización micorrícica: nula (0 %), baja (1-25 %), moderada (26-50 %), alta (51-75 %) y muy alta (76-100 %), la colonización micorrícica obtenida en este trabajo se ubicó dentro del rango muy alto (Figura 9).

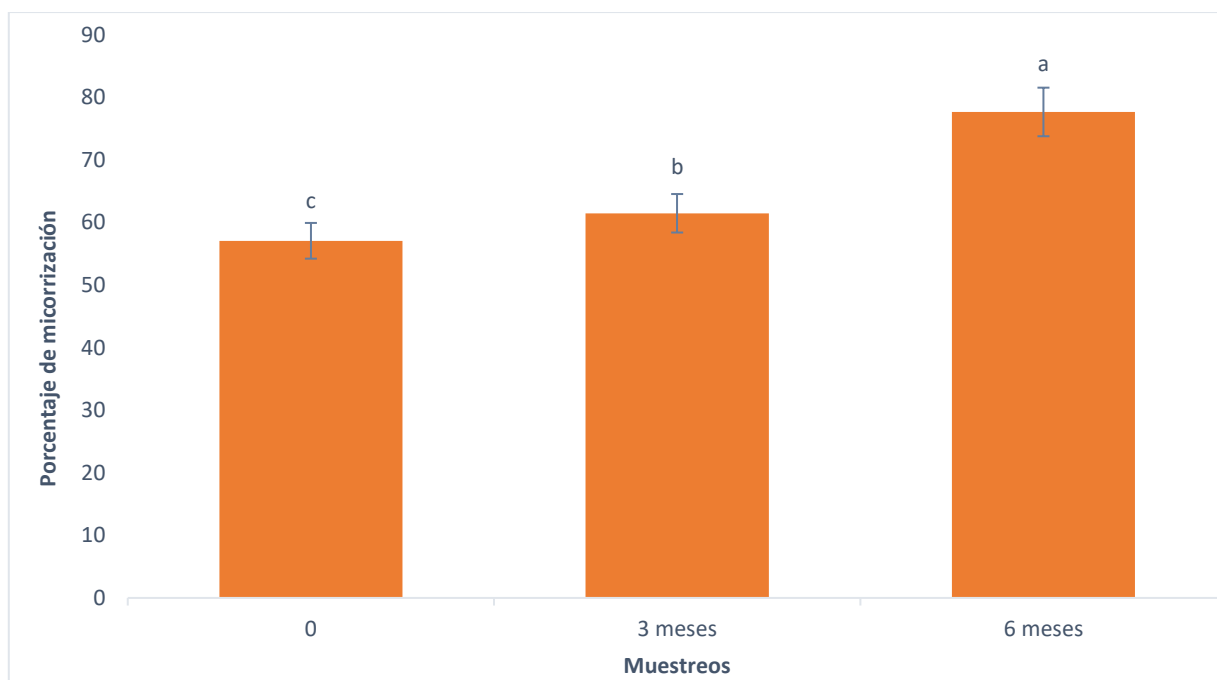


Figura 9. Porcentaje de colonización micorrícica de las plantas trampa (*Allium schoenoprasum*) después de tres meses (M2) y después de seis meses (M3). Los datos son el promedio de cinco repeticiones $\pm$ la desviación estándar. Las letras diferentes indican que hay diferencias significativas al contrastar con las pruebas de medias con Tukey ($p \geq 0.05$)

Discusión

Los talleres impartidos a los productores de café en Jilotepec, Veracruz, estuvo centrado en la capacitación teórica/práctica sobre el manejo de micorrizas y técnicas agrícolas avanzadas. El enfoque práctico mejoró las habilidades técnicas de los productores, pero también fortaleció las relaciones entre los productores y el equipo de trabajo, creando un ambiente colaborativo y de aprendizaje continuo. La metodología adoptada, centrada en la práctica, fue fundamental para la participación de los productores los que facilitó una mejor comprensión y retención de la información presentada. En estudios similares, se ha demostrado que la capacitación práctica es más efectiva que los métodos tradicionales de enseñanza teórica (Moreno-Ruiz y Calderón-Pérez, 2015). Por ejemplo, Acosta-Martínez et al. (2018) señalaron que los agricultores que participaron en talleres prácticos sobre manejo de suelos y cultivos mostraron una mayor adopción de técnicas sostenibles en comparación con aquellos que solo recibieron formación teórica. La alta participación y el interés mostrado por los productores resaltan la importancia de enfoques

prácticos y colaborativos en el desarrollo de proyectos integrales que involucren a los productores beneficiarios de los estudios realizados al considerar sus necesidades, edad, habilidades previas y dinámica de trabajo.

Son bien conocidos los beneficios que brindan los HMA en la absorción de nutrientes y la tolerancia al estrés hídrico, sin embargo, pocos estudios abordan la multiplicación de los HMA nativos de los cafetales, a pesar de que el café es un producto agrícola de gran relevancia a nivel mundial y en Veracruz. Para obtener una propagación exitosa de las especies de HMA, es de suma relevancia considerar tanto las plantas hospederas como las especies de HMA dominantes. Los resultados de este trabajo revelan una diversidad notable de HMA en los suelos de las fincas cafetaleras de Jilotepec, ya que se detectaron 16 morfotipos distribuidos en cinco géneros: *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Cetraspora* y *Diversispora*. El género *Glomus*, resultó ser el más abundante y diverso, ya que representa el 62% de la abundancia total de esporas, esto coincide con hallazgos en otras regiones cafetaleras del mundo.

En otros trabajos en cafetales de México, destacan de manera general los géneros *Glomus* y *Acaulospora* como dominantes en cafetales de Veracruz (Arias et al., 2012; Posada et al., 2018) y Chiapas (Bertolini et al., 2018, 2020 y Robles-González et al., 2023). Algunos estudios en cafetales en Costa Rica indican que las familias Gigasporaceae y Acaulosporaceae son las dominantes (Prates-Júnior et al., 2019). En cafetales de Ecuador (Urgiles-Gómez et al., 2021) resaltan a *Funneliformis mosseae*, *Gigaspora gigantea* y *Stecullospora* spp. como las especies dominantes. Asimismo, en investigaciones llevadas a cabo en Colombia, se encontró una alta prevalencia de esporas del género *Glomus* en sistemas agroforestales de café, destacando su importancia en la mejora de la nutrición de las plantas y la resistencia a enfermedades (Posada et al., 2018). La presencia de *Acaulospora*, con cinco morfotipos identificados, también es notable. La caracterización detallada de las esporas, en términos de forma, color, superficie, diámetro y medida de la pared, proporciona una base sólida para futuras investigaciones sobre la caracterización morfológica de estos hongos en suelos cafetaleros de Jilotepec, Ver. La alta abundancia y dominancia de los morfotipos de *Glomus* y *Acaulospora*, podría estar relacionada con la adaptabilidad de estos hongos a diferentes condiciones del suelo y su capacidad para establecer una simbiosis exitosa con las plantas de café (Robles-Gonzales et al., 2023). En este

estudio las plantas trampa de cebollín (*Allium schoenoprasum*) resultaron adecuadas, ya que permitieron la propagación de esporas de HMA nativas de cafetales hasta de 2214 esporas por cada 50 gr de suelo en 6 meses. Estos resultados son superiores a los de Yusnizar et al. (2024) realizados en Indonesia quienes señalan 111 esporas/50 gr suelo y los de Robles-González et al. (2023) en Chiapas, que utilizando café, maíz, frijol y pasto mencionan 139 esporas/50 gr de sustrato.

La planta de cebollín resultó idónea para promover una alta micorrización (71-80%). En otros estudios detectaron una menor micorrización. Fernández-Martín (2005) obtuvo porcentajes de colonización de 45-60% en las plantas de café utilizando el sorgo como planta trampa, sin embargo, utilizaron una cepa de HMA alóctona (*G. clarum*). Arias et al. (2024) propagaron HMA nativas de cafetales con la planta sorgo, no obstante, el número de esporas propagadas fue de 1000/ 50 gr por suelo. Existen pocos estudios donde se propague e inocule HMA autóctonos de cafetales; en la mayoría de los estudios utilizan bioinoculantes alóctonos o bien carecen de información sobre su procedencia.

La técnica de plantas trampa debido a que es una técnica sencilla, los productores pueden adoptarla, ya que no requiere de técnicas complicadas ni equipos de laboratorio. Los productores las pueden adecuar a las condiciones de sus fincas para la producción de inóculo nativo además de obtener otro producto adicional como el cebollín, que se puede usar para su autoconsumo en sus casas. El uso de HMA en los cafetales permite el establecimiento de fincas orgánicas y los productores podrían acceder al mercado de café certificado, que tiene un mejor precio en el mercado. Es importante mencionar que este trabajo formó parte de un proyecto de investigación financiado por Coveicydet, titulado “Impulso a la cafeticultura sustentable mediante innovaciones tecnológicas para el uso del agua y suelo en Jilotepec, Veracruz”, que promueve el uso de recursos biotecnológicos autóctonos entre los cafeticultores de la región.

Conclusiones

A través de los diferentes talleres se logró con éxito realizar la transferencia de tecnología hacia los productores de café de Jilotepec, Veracruz. Se concluye, además, que el cebollín (*Allium*

schoenoprasum) como planta trampa es idónea para la multiplicación de esporas de HMA nativos de cafetales y favorece la colonización micorrícica alta.

Referencias

- Acosta-Martínez, V., Cotton, J., Gardner, T., & Moore-Kucera, J. (2018). Effectiveness of Practical Workshops on Adoption of Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(2), 123-130.
- Arias, R. M., Heredia-Abarca, G., Sosa, V. J., & Fuentes-Ramírez L. E. (2012). Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. *Agroforestry Systems* 85(1), 179-193. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9414-3>
- Arias, R. M., de la Cruz Elizondo, Y., Monjardín, L. C. R., & Perea-Rojas, Y. D. C. (2024). Dominant Morphotypes of Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi from Coffee Plantations and Their Propagation with Trap Plants. *International Journal of Plant Biology*, 15(3), 744-756. <https://doi.org/10.3390/ijpb15030054>
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., & Martínez Vázquez, J. M. (2018). Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66 (1), 91-105. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Salazar-Ortuño, B. L., Chimal-Sánchez, E., Varela, L. (2020). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacaná, Chiapas, México. *Acta Botanica Mexicana*, 127, 1-16. <https://doi.org/10.21829/abm127.2020.1602>
- Fernández-Martín, F., Rivera-Espinosa, R., Hernández-Jiménez, A., Herrera-Peraza, R. A., & Fernández-Suárez, K. (2005). Inoculación de hongos micorrícicos arbusculares y diferentes relaciones suelo: humus de lombriz sobre el crecimiento del cafeto (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí bajo la etapa de vivero. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 11, 175-184. <https://www.redalyc.org/pdf/609/60912502025.pdf>

- Gerdemann, J. W., & Nicholson T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transacciones de la Sociedad Micológica Británica*, 46, 235-244.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84(3), 489-500. <https://www.jstor.org/stable/2432123>
- Hernández-Acosta, E., Banuelos, J., & Trejo-Aguilar, D. (2021). Revisión: Distribución y efecto de los hongos micorrízicos en el agroecosistema de café. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 445-461. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i2.42256>
- Janse, J. M. (1987). Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. *Ann Jardin Bot Buitenzorg*, 24, 53-201.
- Kormanik, P. P., & McGraw, A. C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In Schenck, N. C. (Ed.). (1982). *Methods and principles of mycorrhizal research* (pp. 37-45). Institute for Mycorrhizal Research and Development.
- Moreno-Ruiz, L., & Calderón-Pérez, A. (2015). Educación Agrícola y Sostenibilidad: Experiencias en la Formación de Agricultores. *Revista Iberoamericana de Educación*, 29(2), 167-181.
- Muleta, D., Assefa, F., Nemomissa, S., & Granhall, U. (2007). Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. *Biol Fertil Soils* 44, 653–659. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0261-3>
- Pérez, Y. M. (2012). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (hma) por dos vías diferentes en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 33(4), 71-76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v33n4/ctr11412.pdf>
- Phillips, J. M., & Hayman D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions British Mycological Society*, 55, 158-161. [https://indexfungorum.org/Publications/TBMS/55/55\(1\)158-161.pdf](https://indexfungorum.org/Publications/TBMS/55/55(1)158-161.pdf)
- Posada, R.H., Sánchez, M., Heredia-Abarca, G., & Sieverding, E. (2018). Effects of soil physical and chemical parameters, and farm management practices on arbuscular mycorrhizal fungi

- communities and diversities in coffee plantations in Colombia and Mexico. *Agroforestry Systems*, 92(2), 555-574. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0030-0>
- Prates Júnior, P., Moreira, B. C., da Silva, M. D. C. S., Veloso, T. G. R., Stürmer, S. L., Fernandes, R. B. A., Mendonça, E. d. S., & Kasuya, M. C. M. (2019). Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *PLoS ONE*, 14, e0209093. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209093>
- Robles-González, K. K., Álvarez-Solís, J. D., Bertolini, V., & Pérez-Luna, Y. C. (2023). Diversidad y propagación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de un cafetal orgánico en Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 147-147. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.147>
- Siqueira, J. O., & Smith, D. L. (2007). Impact of management practices on soil nematode communities in Costa Rica. *Journal of Nematology*, 39(3), 233-234.
- Hernández-Acosta, E., Bañuelos, J., Trejo-Aguilar, D. (2021). Revisión: Distribución y efecto de los hongos micorrízicos en el agroecosistema de café. *Revista de Biología Tropical*, 69(2). <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.42256>
- Urgiles-Gómez, N., Avila-Salem, M. E., Loján, P., Encalada, M., Hurtado, L., Araujo, S., & Cornejo, P. (2021). Plant Growth-Promoting Microorganisms in Coffee Production: From Isolation to Field Application. *Agronomy*, 11(8), 1531. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081531>
- Yusnizar, Y., Syafruddin, S., Hifnalisa, H., Karim, A., Fikrinda, F., & Latifurrahmi, L. (2024). Propagation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores from Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Bener Meriah Regency. *AGROTEK: Journal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 8(1), 55-61. <https://doi.org/10.21829/AGROTEK.2024.8.1.475>

Arturo Cabrera Hernandez¹, Arturo Cabrera Vázquez², Joaquín Sangabriel-Lomelí¹, Luis Mejía Macario¹, Evelyn Limón Segura¹

²Escuela Facultad de Matemáticas, Universidad Veracruzana.

Resumen

La contaminación por detergentes y metales pesados representa una seria amenaza para la salud de los ecosistemas. En este estudio se evaluaron los efectos individuales y combinados de un detergente líquido comercial lavatrastes y una sal de bismuto $[\text{Bi}(\text{NO}_3)_3]$ en la germinación de semillas de cempasúchil (*Tagetes erecta*) así como el desarrollo inicial de las plántulas. Se aplicó un diseño experimental factorial completo 4×6 ; con cuatro niveles de concentración de bismuto (0, 5, 10 y 20 mg/L de bismuto) y seis niveles de concentración de detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mL/L). Los resultados indicaron que el detergente inhibió significativamente la longitud y peso de raíz y tallo a partir de una concentración de 3 mL/L, mientras que el bismuto no mostró efectos significativos sobre la germinación hasta una concentración de 20 mg/L. Los análisis estadísticos no evidenciaron interacciones significativas entre ambos contaminantes, sugiriendo que el detergente fue el principal factor limitante del crecimiento. Estos hallazgos sugieren que el uso de aguas contaminadas con detergente puede tener efectos perjudiciales en la germinación y desarrollo de plantas como el cempasúchil y se apoya el uso del bismuto como un elemento ecológicamente seguro para esta especie.

Palabras clave: Bioacumulación, germinación, interacción, metal verde, surfactante, tensoactivo.

Introducción

La contaminación del suelo es un problema complejo y multifactorial que se caracteriza por la presencia de una amplia gama de contaminantes que alteran las propiedades y funciones de los suelos y representa una amenaza para la sostenibilidad ambiental, ya que compromete la capacidad de los suelos para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales y pueden tener efectos tóxicos sobre los organismos del suelo, afectar la calidad de los cultivos y contaminar las aguas subterráneas (Silva-Arroyave y Correa-Restrepo, 2009). Las actividades humanas, como la agricultura intensiva, la minería y la industrialización, son las principales responsables de la introducción de contaminantes en el suelo, alterando su composición y función (Brevik et al., 2020).

La contaminación ambiental por sustancias como detergentes y metales pesados se ha convertido en una de las mayores amenazas para los ecosistemas a nivel global. El incremento

exponencial en el uso y disposición inadecuada de estas sustancias ha desequilibrado los ecosistemas naturales, generando efectos adversos en la salud de plantas, animales y en última instancia, del ser humano (Sharma et al., 2023).

Los detergentes son introducidos continuamente en el medio acuático a través de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, cuyo ingrediente base es el agente tensoactivo, una molécula con estructura anfipática que actúa en la interfase del agua con: el aire, sólidos o líquidos inmiscibles. Diversos estudios han mostrado que los detergentes presentan efectos fitotóxicos, especialmente durante la germinación, la etapa más sensible del crecimiento vegetal (Cai y Ostroumov, 2020; Heidari, 2013). Las alteraciones en los procesos bioquímicos por la presencia de agentes tensoactivos incluyen: disminución dependiente de la dosis en las concentraciones de clorofila A y B así como carotenoides totales, alteraciones en el contenido de proteínas totales, reducción en la viabilidad celular (Uzma et al., 2018), modificaciones en la integridad de la membrana; así como unión a proteínas de membrana que modifican la solubilidad, estructura y funcionalidad de estas (Nyberg y Koskimies-Soininen, 1984).

El bismuto (Bi), un metal de creciente interés industrial debido a sus propiedades fisicoquímicas y su menor toxicidad relativa ha sido propuesto como una alternativa más ecológica a otros metales pesados (Zacchini, 2024). Sin embargo, a pesar de su uso extendido, la comprensión de los efectos del Bismuto en la biota, particularmente en plantas, es aún limitada. Estudios recientes han demostrado que el bismuto puede ser fácilmente absorbido y translocado en las plantas, interfiriendo con procesos fisiológicos esenciales como: la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la homeostasis de metales, principalmente del hierro (Nagata, 2015; Nagata y Kimoto, 2020). Además, el bismuto puede inducir estrés oxidativo y daño genético en las plantas, afectando negativamente su crecimiento y desarrollo. La variabilidad en los efectos observados está influenciada por factores como la forma química del bismuto, la concentración, el tiempo de exposición y las condiciones ambientales (Zacchini, 2024).

Estudios recientes han revelado un aumento significativo en las concentraciones de bismuto en el medio ambiente, especialmente en suelos agrícolas. Amneklev et al. (2015), documentaron un incremento del 300% en los niveles de bismuto en plantas de tratamiento de agua en Estocolmo, atribuido al uso generalizado de productos cosméticos a base de bismuto

(Amneklev et al., 2015). La disposición de lodos de depuradora, el uso de fertilizantes fosfatados y el alto consumo de productos cosméticos, contribuyen a la contaminación de los suelos por bismuto (Amneklev et al., 2016; Oteng-Peprah et al., 2018).

La coexistencia de bismuto y detergentes en el suelo puede modificar significativamente las propiedades fisicoquímicas de ambos contaminantes, tales como su solubilidad y capacidad de adsorción a las partículas del suelo, así como su efecto toxicológico. Estas alteraciones pueden influir en la absorción, movilidad y persistencia de los compuestos sobre las plantas durante su germinación. Además, las interacciones químicas entre el bismuto y los detergentes en el suelo pueden generar efectos sinérgicos o antagónicos, modulando su toxicidad y biodisponibilidad para las plantas (Passatore et al., 2022). Al evaluar estos contaminantes de manera conjunta, se obtiene una perspectiva más realista de los procesos que ocurren en el suelo y los efectos sobre la germinación de semillas.

La creciente presencia de bismuto y detergentes en el ambiente ha generado una creciente preocupación por sus efectos combinados en los ecosistemas (Slikkerveer et al., 2023). A pesar de la documentación de niveles crecientes de estos contaminantes en suelos, se conoce relativamente poco sobre su toxicidad individual y sus interacciones sobre plantas. En este estudio, se evaluará el impacto de diferentes concentraciones de una sal de bismuto y un detergente líquido lavatrastes comercial sobre la germinación y el crecimiento del cempasúchil, una especie de gran relevancia cultural y ecológica en México. El cempasúchil (*Tagetes erecta*), una flor emblemática de México posee una importancia cultural y ecológica inigualable. Su intenso color amarillo y naranja, así como su característico aroma, la convierten en un elemento esencial de las celebraciones del Día de Muertos y por sus propiedades antiinflamatorias y antimicrobianas ha sido utilizada comúnmente en la medicina tradicional mexicana (Estrada et al., 2024).

Al seleccionar las semillas de esta planta como organismo modelo, se busca contribuir a llenar un vacío de conocimiento en la ecotoxicología de mezclas de contaminantes, al tiempo que se determina la susceptibilidad a estos contaminantes de una especie emblemática de la flora mexicana y de gran importancia económica. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto individual y combinado de bismuto y detergente sobre la germinación y crecimiento de plántula de semilla de cempasúchil.

Material y métodos

Reactivos y material biológico

Semillas de cempasúchil (*Tagetes erecta*, marca Hortaflores) fueron adquiridas en un comercio local. Como fuente de bismuto, se empleó nitrato de bismuto pentahidratado ($\text{BiNO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\geq 98\%$, marca MEYER). Como agente tensoactivo, se utilizó un detergente lavatrastes líquido comercial de marca líder, cuya composición incluye alquil sulfonato de sodio, alcohol etoxilado (EO 10), alquil sulfonato de magnesio, óxidos de amina, alquil sulfonato de trietanolamina, y otros aditivos (etanol, perfume, EDTA tetrasódico, colorantes, preservantes). El detergente presentó un pH de 7.5-8.5.

Germinación de semillas y crecimiento de plántulas de Cempasúchil

Se empleó un método de germinación estándar en papel filtro para evaluar el efecto de las soluciones de prueba sobre la germinación de semillas de cempasúchil. Las semillas fueron incubadas bajo condiciones ambientales de temperatura (20.4°C a 29.4°C), humedad relativa (78%) e iluminación. La humedad se mantuvo mediante adiciones diarias de un mililitro de agua destilada. La evaluación fue diariamente para determinar el porcentaje de germinación, considerando como semilla germinada aquella con una radícula de al menos 2 mm. A los seis días de la siembra, se procedió a la medición de parámetros morfométricos en cada plántula. Así mismo, fueron determinadas la longitud y la masa fresca tanto de la raíz como del tallo para cada individuo. Los experimentos se realizaron por triplicado.

Diseño de experimentos

Para evaluar el efecto combinado de nitrato de bismuto y detergente sobre la germinación de semillas de cempasúchil, se estableció un diseño experimental factorial 4×6 (figura 1). Diez semillas de cempasúchil se distribuyeron espacialmente sobre discos de papel filtro humedecidos con 24 soluciones diferentes, generadas de la combinación de cuatro niveles de bismuto (concentraciones 0, 5, 10 y 20 mg/L) y seis niveles de detergente (concentraciones 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mL/L).

En la figura 1 se observa que se incluyó un control negativo que corresponde al punto 1 del diseño factorial el cual solo se irriga con agua purificada. Los puntos 2, 3 y 4 evaluaron los efectos

individuales de concentraciones crecientes de bismuto, y en los puntos 5, 9 13, 17 y 21 se evaluaron los efectos individuales de detergente. En el resto de los puntos del diseño factorial se evaluaron las interacciones de ambos contaminantes. Como variables de respuesta, se determinó el porcentaje de germinación diaria durante 6 días y se cuantificaron parámetros morfométricos como longitud y peso, de raíz y tallo al final del período experimental.

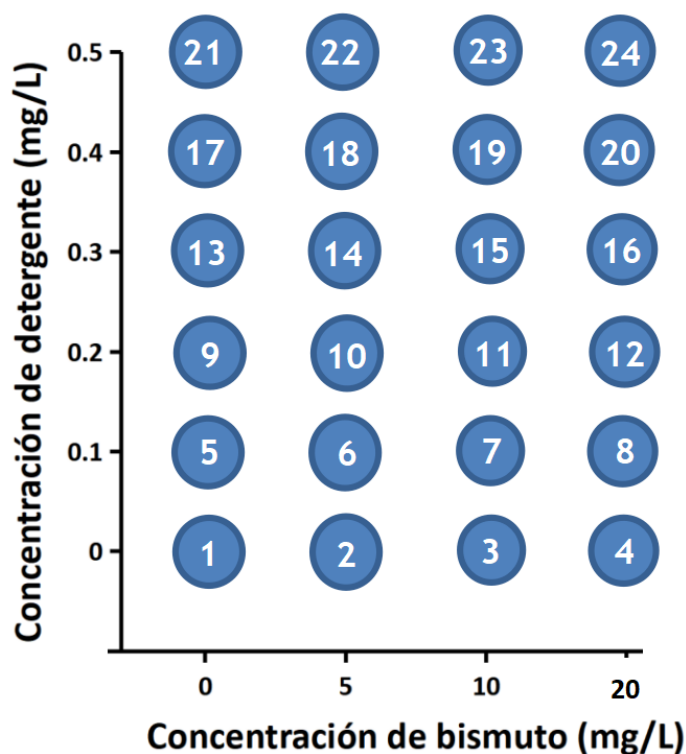


Figura 1. Diseño factorial completo 4 x 6 para evaluar el efecto del bismuto (0, 5, 10, 20 mg/L) y el detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ml/L) sobre la germinación y crecimiento de la plántula de cempasúchil. Los puntos 2, 3 y 4 así como 5, 9, 13, 17, 21 corresponden a los niveles individuales de detergente y bismuto, respectivamente. El resto de los puntos representan las interacciones entre ambos factores. El punto 1 actúa como control negativo (agua destilada)

Análisis estadístico

Los datos se recopilaron y ordenaron utilizando el software Excel® 2016. El análisis estadístico y gráfico de los datos se realizó empleando el software OriginPro. Debido a la naturaleza binomial de los datos de porcentaje de germinación, se aplicó una transformación arcoseno para estabilizar la varianza y cumplir con los supuestos de normalidad requeridos para el análisis de varianza (ANOVA). Posteriormente, se utilizó la prueba de Tukey para realizar comparaciones múltiples y

detectar diferencias significativas entre los tratamientos. Para el análisis de las variables de respuesta de longitud y peso de tallo y raíz, se evaluó la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levene. Dado que no se presentó el supuesto de normalidad para ciertos grupos de datos, se aplicó estadística no paramétrica para el análisis de datos morfométricos de plántulas. Como prueba de hipótesis se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, ($p < 0.05$). La significancia entre medias se verificó mediante la prueba post-hoc de Dunn ($p < 0.05$).

Resultados

Efecto de diferentes concentraciones de bismuto sobre la germinación de semillas de cempasúchil

La Figura 2 muestra la cinética de germinación de semillas de cempasúchil evaluada a lo largo de 6 días, bajo diferentes combinaciones de las concentraciones de nitrato de bismuto (0, 5, 10 y 20 mg/L) y detergente lavatrastes comercial (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mL/L).

Se presenta el porcentaje de germinación acumulado diario, como un indicador de la viabilidad de las semillas en respuesta a los tratamientos. Cada panel de la figura 2 corresponde a un nivel fijo de concentración de bismuto evaluada 0, 5, 10 y 20 mg/L (panel A, B, C y D, respectivamente) y las líneas de color dentro de cada panel representan los perfiles para cada una de las concentraciones de detergente 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mL/L. El comportamiento que presenta la cinética de germinación reveló un patrón de crecimiento sigmoideal similar en todos los tratamientos, caracterizado por un aumento gradual del porcentaje de germinación hasta alcanzar una meseta alrededor del cuarto día, con un valor del orden del 90%. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos. La tabla 1 presenta los porcentajes de germinación al finalizar el experimento (sexto día) para cada uno de los tratamientos evaluados.

El análisis estadístico no reveló diferencias significativas ($p > 0.05$) entre el grupo control (punto 1 del diseño experimental) y los tratamientos con diferentes concentraciones de bismuto y detergente, lo que sugiere que ninguno de estos factores afectó la capacidad germinativa de las semillas. El tiempo de inicio de la germinación tampoco se vio alterado por la presencia individual o simultánea de los dos contaminantes en los 24 tratamientos evaluados.

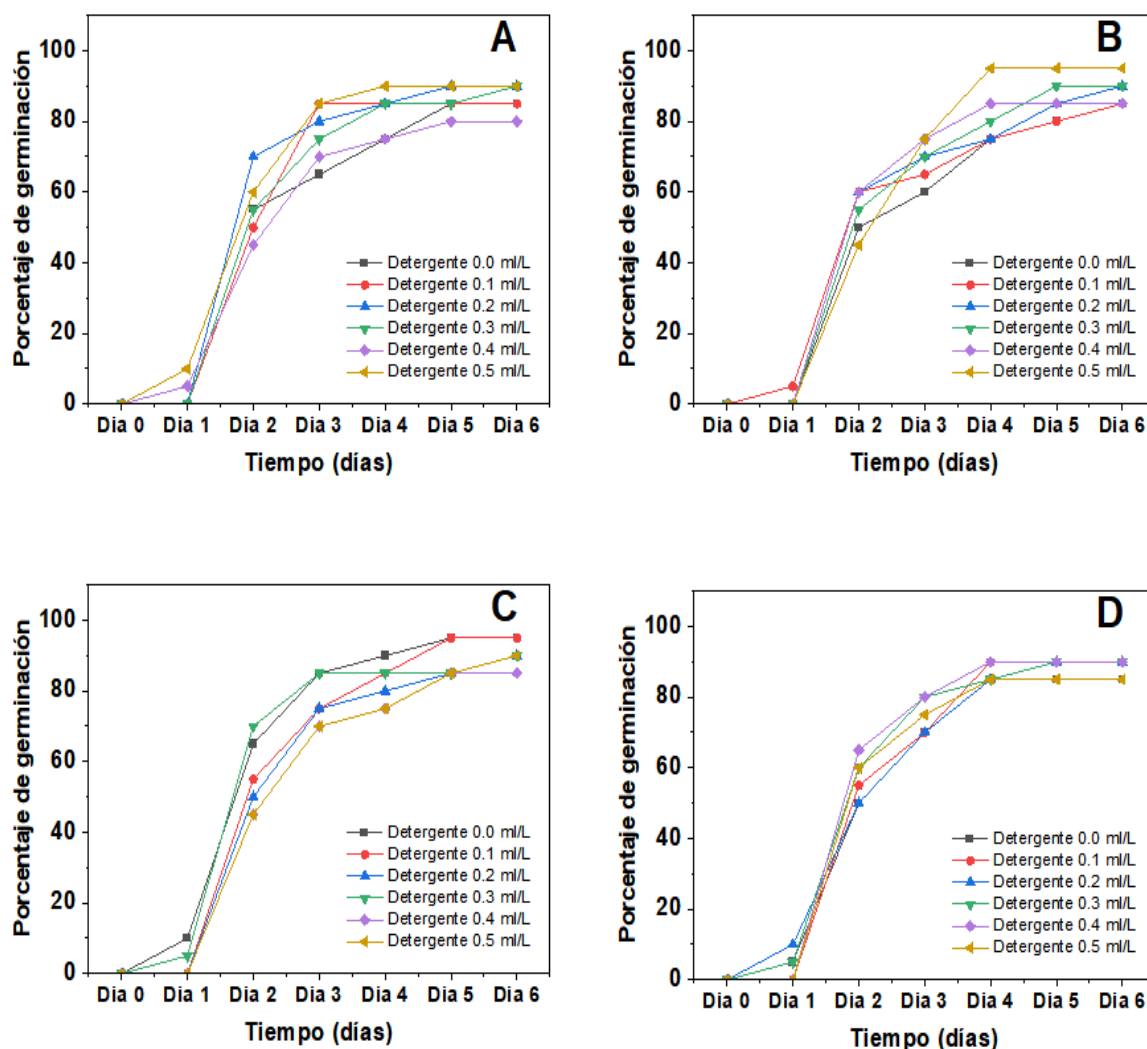


Figura 2. Cinética de germinación de semillas de cempasúchil bajo diferentes concentraciones de bismuto (0, 5, 10 y 20 mg/L) y detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 ml/L). Cada panel representa la evolución temporal del porcentaje de germinación para cada concentración de bismuto evaluada 0, 5, 10 y 20 mg/L (paneles A, B, C y D, respectivamente). En cada panel se presentan los perfiles de germinación correspondientes a las seis concentraciones de detergente evaluadas (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 ml/L). Para una mejor visualización de los perfiles, no se incluyen las desviaciones estándar

Efecto individual de detergente sobre la longitud y peso de tallo y raíz de plántulas de cempasúchil

La tabla 2 presenta los valores promedio, así como su desviación estándar de los parámetros morfométricos (longitud y peso de raíz y tallo) de las plántulas de cempasúchil al sexto día de germinación para cada uno de los 24 tratamientos evaluados de acuerdo con el diseño experimental. El análisis comparativo de los tratamientos 1, 5, 9, 13, 17 y 21 correspondientes a

los tratamientos con detergente, donde estuvo ausente el bismuto revela una disminución gradual en el crecimiento de las plántulas. En las cuatro variables morfométricas presentadas en la tabla 1, se observa una disminución en sus valores con respecto al control (tratamiento 1) al incrementarse la concentración de detergente, siendo este efecto más evidente y significativo a las concentraciones más altas evaluadas.

Tabla 1. *Análisis estadístico del porcentaje de germinación en semillas de Cempasúchil*

Número de tratamiento	Concentración mg Bi : ml det.	Porcentaje de germinación
1	0 : 0	86.66 ± 15.2 ^a
2	5 : 0	86.66 ± 5.8 ^a
3	10 : 0	90 ± 0 ^a
4	20 : 0	90 ± 17.3 ^a
5	0 : 0.1	86.66 ± 5.8 ^a
6	5 : 0.1	93.33 ± 5.8 ^a
7	10 : 0.1	93.33 ± 11.5 ^a
8	20 : 0.1	93.33 ± 11.5 ^a
9	0 : 0.2	90 ± 10 ^a
10	5 : 0.2	90 ± 17.3 ^a
11	10 : 0.2	86.66 ± 23 ^a
12	20 : 0.2	90 ± 10 ^a
13	0 : 0.3	86.66 ± 5.8 ^a
14	5 : 0.3	83.33 ± 5.8 ^a
15	10 : 0.3	90 ± 17.3 ^a
16	20 : 0.3	90 ± 10 ^a
17	0 : 0.4	83.33 ± 15.2 ^a
18	5 : 0.4	90 ± 0 ^a
19	10 : 0.4	86.66 ± 11.5 ^a
20	20 : 0.4	90 ± 17.3 ^a
21	0 : 0.5	90 ± 10 ^a
22	5 : 0.5	90 ± 17.3 ^a
23	10 : 0.5	90 ± 17.3 ^a
24	20 : 0.5	83.33 ± 28.8 ^a

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Se presentan los valores promedio y la desviación estándar de cada uno de los 24 tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Efecto individual del bismuto sobre la longitud y el peso de tallo y raíz de plántulas de cempasúchil

El análisis comparativo de los datos de la tabla 2 para los tratamientos 2, 3 y 4 correspondientes a los tratamientos individuales con 5, 10 y 20 mg/L de Bi en ausencia de detergente no reveló diferencias estadísticamente significativas en los valores de los cuatro parámetros morfológicos evaluados. Tampoco se observa una disminución significativa en sus valores con respecto al control negativo (tratamiento 1).

Tabla 2. *Análisis estadístico para valores de biomasa aérea y radicular de plántulas de Cempasúchil*

Número de tratamiento	Concentración mg Bi : ml det.	Longitud de tallo (cm)	Longitud de raíz (cm)	Peso de tallo (mg)	Peso de raíz (mg)
1	0 : 0	4.32 ± 1.39 ^{bcd}	3.85 ± 1.60 ^{abc}	26.61 ± 12.88 ^{abcdef}	7.11 ± 4.79 ^a
2	5 : 0	4.14 ± 0.97 ^{bcde}	4.14 ± 0.81 ^{ab}	29.69 ± 6.80 ^{abcd}	6.32 ± 2.07 ^{ab}
3	10 : 0	4.25 ± 1.20 ^{bcd}	3.67 ± 1.24 ^{abcd}	30.58 ± 10.76 ^{ab}	5.77 ± 4.00 ^{ab}
4	20 : 0	4.09 ± 0.80 ^{bcde}	3.44 ± 1.11 ^{abcde}	31.48 ± 9.99 ^a	6.93 ± 3.65 ^a
5	0 : 0.1	4.41 ± 0.99 ^{bc}	3.44 ± 1.30 ^{abcde}	29.73 ± 11.47 ^{abcd}	5.72 ± 2.41 ^{ab}
6	5 : 0.1	4.46 ± 0.62 ^{ab}	3.74 ± 0.72 ^{abcd}	27.83 ± 6.38 ^{abcd}	5.78 ± 2.45 ^{ab}
7	10 : 0.1	4.61 ± 1.03 ^a	4.25 ± 1.19 ^a	30.18 ± 7.76 ^{abcd}	6.08 ± 3.00 ^{ab}
8	20 : 0.1	4.58 ± 1.14 ^a	3.85 ± 0.76 ^{abc}	29.74 ± 8.27 ^{abcd}	6.99 ± 2.18 ^a
9	0 : 0.2	4.13 ± 0.65 ^{abcde}	3.68 ± 0.85 ^{abcd}	27.21 ± 5.63 ^{abcde}	4.96 ± 1.89 ^{ab}
10	5 : 0.2	4.25 ± 0.61 ^{abcd}	4.16 ± 1.27 ^{ab}	30.25 ± 8.68 ^{abc}	5.48 ± 1.54 ^{ab}
11	10 : 0.2	3.97 ± 0.81 ^{abcde}	3.43 ± 0.89 ^{abcdef}	27.31 ± 6.47 ^{abcde}	5.12 ± 1.49 ^{ab}
12	20 : 0.2	4.05 ± 0.72 ^{abcdefg}	3.41 ± 1.11 ^{abcdef}	26.91 ± 10.13 ^{abcde}	4.96 ± 1.41 ^{ab}
13	0 : 0.3	3.24 ± 0.81 ^{bcdefg}	2.68 ± 0.99 ^{abcdefg}	19.44 ± 5.40 ^{abcdefg}	4.83 ± 1.90 ^{ab}
14	5 : 0.3	3.07 ± 0.71 ^{cdefg}	2.24 ± 0.90 ^{cdefg}	18.51 ± 2.84 ^{bcdefg}	4.36 ± 0.97 ^{ab}
15	10 : 0.3	3.55 ± 0.92 ^{abcdef}	2.29 ± 0.79 ^{cdefg}	21.28 ± 6.30 ^{abcdefg}	4.61 ± 1.11 ^{ab}
16	20 : 0.3	3.56 ± 0.66 ^{abcdef}	2.57 ± 1.08 ^{bcdefg}	22.05 ± 7.02 ^{abcdefg}	4.59 ± 1.83 ^{ab}
17	0 : 0.4	2.99 ± 0.52 ^{defg}	2.21 ± 0.69 ^{defg}	21.09 ± 4.11 ^{abcdefg}	3.71 ± 1.24 ^{ab}
18	5 : 0.4	2.82 ± 0.53 ^{efg}	2.41 ± 0.84 ^{cdefg}	20.82 ± 6.41 ^{abcdefg}	4.07 ± 1.05 ^{ab}
19	10 : 0.4	2.48 ± 0.71 ^{fg}	1.70 ± 0.77 ^g	18.26 ± 5.24 ^{defg}	3.22 ± 1.50 ^b
20	20 : 0.4	2.55 ± 0.58 ^{fg}	1.75 ± 0.82 ^g	18.14 ± 7.20 ^{defg}	3.19 ± 1.41 ^b
21	0 : 0.5	2.15 ± 0.25 ^g	1.89 ± 0.73 ^{efg}	14.78 ± 3.42 ^{fg}	3.24 ± 1.10 ^b
22	5 : 0.5	2.35 ± 0.58 ^g	1.95 ± 0.88 ^{efg}	15.71 ± 3.46 ^{efg}	3.32 ± 1.05 ^b
23	10 : 0.5	2.25 ± 0.40 ^g	1.82 ± 0.59 ^{fg}	13.52 ± 2.77 ^g	3.09 ± 0.95 ^b
24	20 : 0.5	2.03 ± 0.54 ^g	1.76 ± 0.80 ^g	14.49 ± 3.97 ^g	2.91 ± 0.69 ^b

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Se presentan los valores promedio y la desviación estándar de cada uno de los 24 tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.

Bajo las condiciones experimentales utilizadas, no se detectaron diferencias significativas en la biomasa aérea o desarrollo radicular de las plántulas tratadas por la presencia de bismuto en el rango de concentraciones evaluado.

Efecto de bismuto y detergente sobre la longitud y el peso de tallo y raíz de plántulas de cempasúchil

La adición de bismuto a los tratamientos con diferentes concentraciones de detergente no modificó significativamente el patrón observado en el crecimiento de las plántulas.

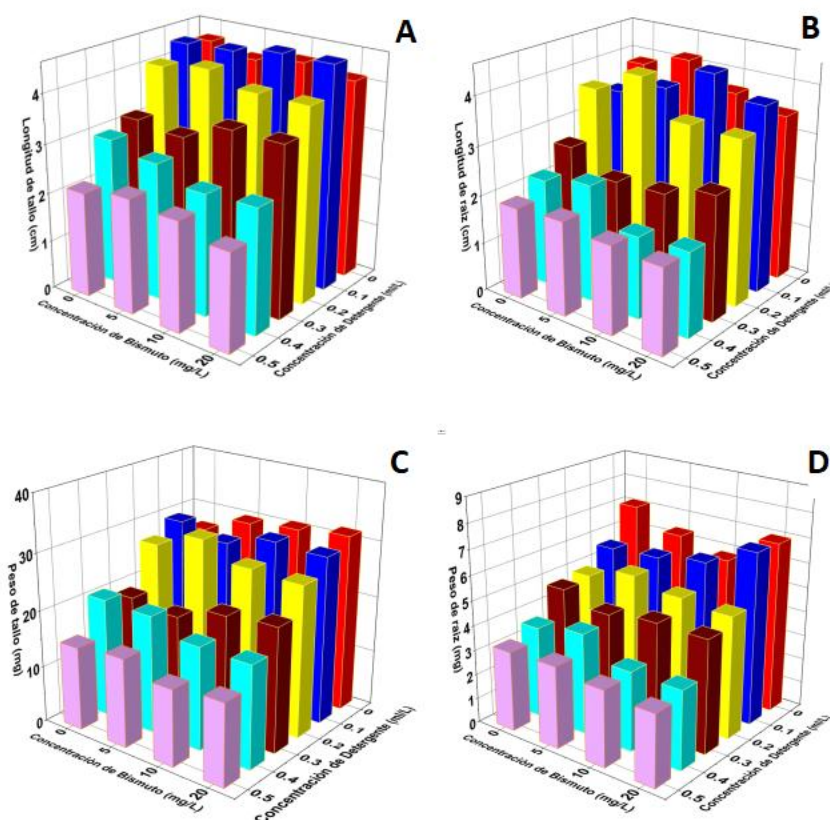


Figura 3. Efecto individual y combinado de un diseño factorial completo 4 x 6 de concentraciones de bismuto (0, 5, 10 y 20 mg/L) y detergente (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mL/L) sobre biomasa aérea y radicular de plántulas de cempasúchil al día 6 después de la siembra. Se presentan los valores promedio para cuatro variables morfológicas; longitud de tallo (panel A), longitud de raíz (panel B), peso de tallo (panel C) y peso de raíz (panel D). Se omitió presentar la desviación estándar con el objetivo de visualizar con mayor claridad los gráficos.

Por ejemplo, al comparar los tratamientos 5, 6, 7 y 8, que contienen una concentración constante de detergente (0.1 mg/L) y diferentes concentraciones de bismuto (0, 5, 10 y 20 mg/L), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores para cada uno de los cuatro parámetros morfométricos evaluados. Aun a la más alta concentración de detergente evaluado (0.5 ml/L) no se observó algún efecto en la interacción del Bi con el detergente. Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, el efecto principal sobre el crecimiento de las plántulas se debe al detergente y no al bismuto, aun cuando ambos estén presentes.

A fin de facilitar la comprensión de los resultados obtenidos, se presenta en la figura 3 un gráfico de barras tridimensional que representa los valores promedio de cada uno de los parámetros morfométricos evaluados en función de las diferentes concentraciones de bismuto y detergente utilizadas en el experimento. Esta representación gráfica permite visualizar de manera clara las interacciones entre ambas variables y su efecto sobre el crecimiento de las plántulas.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan un panorama sobre los efectos individuales del detergente lavatrastes comercial y el nitrato de bismuto en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de cempasúchil, así como la interacción de ambos. Si bien la germinación no se vio afectada significativamente por ninguno de los tratamientos, el crecimiento vegetativo aéreo y radicular, en términos de longitud y peso de tallo y raíz, mostró una clara sensibilidad al detergente.

Efecto individual de detergente

Los detergentes son productos de uso cotidiano con una composición química diversa y compleja que incluyen surfactantes y aditivos como; blanqueadores, enzimas, perfumes y agentes constructores. Estudios previos han reportado efectos variables por detergentes comerciales sobre la germinación de diferentes especies, así mientras que en algunas especies, como girasol y lenteja (Cai y Ostroumov, 2020; Heidari et al., 2013) se han observado reducciones significativas en el porcentaje de germinación a ciertas concentraciones; en otras especies, como chile habanero, maíz, pepino y lechuga (Da Silva y Silva, 2023; Heidari, 2012; Hernández-Baranda et al.,

2023; Georgescu et al., 2023; Uzma et al., 2018) han mostrado una mayor tolerancia a los detergentes. Estos resultados sugieren que la sensibilidad de las semillas a los detergentes puede variar considerablemente entre especies y podría depender de factores como la composición del detergente, la concentración utilizada y las características intrínsecas de la semilla. De este último sobresalen factores fisiológicos (desarrollo de latencia) y mecánicos (tamaño y forma de la semilla, cubiertas seminales gruesas, duras o impermeables) que confieren resistencia frente al estrés químico. Los resultados presentados en este estudio indican que las concentraciones de detergente evaluadas no afectaron significativamente la germinación de las semillas de cempasúchil, pero disminuyeron significativamente el crecimiento radicular y la biomasa aérea de forma dependiente de la dosis.

Los detergentes ejercen efectos variados en el crecimiento de tallos y raíces de las plantas. En general, altas concentraciones inhiben el crecimiento, causando daños en los tejidos y reduciendo la absorción de nutrientes. Sin embargo, a concentraciones bajas, algunos detergentes pueden estimular el crecimiento inicial. Tales efectos dependen del tipo de detergente, la especie vegetal y la etapa de desarrollo de la planta. Por ejemplo, en maíz, altas concentraciones redujeron significativamente la biomasa (Heidari, 2012), mientras que en chile habanero se observó un efecto bifásico, con estimulación inicial y posterior inhibición (Hernández-Baranda et al., 2023). En pepino y girasol, mostraron reducciones en la longitud de raíces y brotes, así como en la biomasa (Da Silva y Da Silva, 2023; Heidari et al., 2013). Se ha propuesto a los surfactantes, uno de los principales componentes químicos de los detergentes, como los responsables de alterar la permeabilidad de las membranas celulares, inhibir procesos enzimáticos y afectar la absorción de nutrientes, lo cual compromete el crecimiento y desarrollo de las plantas (Uzma et al., 2018). Sin embargo, no se puede excluir la participación toxicológica de los aditivos presentes en los detergentes como participantes directos o indirectos de los efectos observados.

Efecto individual del bismuto

El bismuto, un metal pesado conocido por sus bajos efectos tóxicos en diversos organismos, no mostró un efecto significativo sobre la germinación o el crecimiento de las plántulas de cempasúchil en las condiciones experimentales evaluadas. Una posible explicación podría ser que

las concentraciones de bismuto utilizadas, aunque dentro de un rango considerado tóxico para otros organismos como tomate (*Solanum lycopersicum*) (Nagata y Kimoto, 2020), no fueron suficientes para inducir efectos visibles en las plántulas de cempasúchil. El tiempo de exposición del contaminante también podría intervenir en la susceptibilidad ya que para tomate el tiempo de exposición fue de 12 días. Valdez-Aguilar et al., (2009) reporta una alta tolerancia del cempasúchil frente a concentraciones de 8 g/L de cloruro de sodio, con eficientes la pérdida de la homeostasis ante otros metales (Valdez-Aguilar et al., 2009). Se han descrito mecanismos de tolerancia o detoxificación que le permiten a otras especies de semillas resistir niveles relativamente altos de metales pesados, tales mecanismos podrían intervenir en la interacción del bismuto y la semilla de cempasúchil durante el crecimiento de la plántula, tales como la síntesis de moléculas especializadas como fitoquelatinas y metalotioneínas, capaces de unirse al bismuto y reducir su toxicidad así como mecanismos eficientes que limitan la absorción y acumulación de bismuto en el tejido radicular (bioacumulación diferencial). Además, la planta podría activar sistemas antioxidantes que neutralizan las especies reactivas de oxígeno generadas por el estrés del metal. Otra estrategia de defensa podría involucrar modificaciones en la pared celular para limitar la absorción de bismuto, así como sistemas que permiten compartimentalizar el bismuto en vacuolas u otros organelos de mecanismos de exclusión de sodio, que no permiten su acumulación en diferentes partes de la planta, pero que provocan lesiones, evitando su interacción con procesos metabólicos esenciales (Wei et al., 2023). Se requieren más estudios para aclarar cuáles mecanismos están involucrados en la baja susceptibilidad del cempasúchil al estrés por metales.

Interacción entre detergente y bismuto

La ausencia de un efecto significativo derivado de la interacción entre el detergente y el bismuto sugiere que los efectos de ambos compuestos sobre el crecimiento de las plántulas son independientes; es decir, el detergente ejerce su efecto tóxico sin verse alterado por la presencia del bismuto. Sin embargo, es importante considerar que este resultado podría estar limitado por el diseño experimental y el rango de concentraciones evaluadas. Estudios futuros podrían explorar

otras combinaciones de concentraciones y evaluar efectos a largo plazo para determinar si existe una interacción más compleja entre ambos compuestos.

La coexistencia de diversos contaminantes como los estudiados en el presente trabajo, es común en las aguas grises empleadas comúnmente para irrigación de cultivos sin el tratamiento adecuado, particularmente en países subdesarrollados (Oteng-Peprah et al., 2015). Al interaccionar la planta de cempasúchil con este tipo de aguas, su sensibilidad durante las primeras etapas de crecimiento a los detergentes comerciales puede tener consecuencias significativas en la producción de la planta, así como en la calidad de la flor. Por otra parte, al ser tolerante el cempasúchil al bismuto y dado su importancia gastronómica es importante determinar el destino final de este elemento para excluir la posibilidad de una bioacumulación de este metal que podría afectar la calidad y estructura de los pigmentos de la flor de cempasúchil, y por otro lado que dicha bioacumulación no sea perjudicial para los consumidores. Por su importancia cultural, económica, gastronómica, farmacológica e industrial, es importante establecer la susceptibilidad de esta planta frente a una mayor batería de metales pesados, así como observar su respuesta en combinación con detergentes.

Conclusiones

Los resultados de este estudio demuestran que el cempasúchil, una especie de gran valor cultural y económico, no es vulnerable a la contaminación por un detergente líquido comercial durante la etapa de germinación en el intervalo de concentración de 0.1 a 0.5 ml/L, aunque presenta sensibilidad durante la etapa inicial del crecimiento de la plántula. En contraste, es insensible a la presencia del metal bismuto de forma individual o combinado con detergentes, durante la germinación o el crecimiento de la plántula, en las concentraciones evaluadas. La sensibilidad al detergente subraya la importancia de implementar prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el uso de aguas contaminadas con detergente para garantizar la calidad de esta planta y sus derivados. Se debe profundizar en la tolerancia frente al bismuto, analizando los mecanismos involucrados en la resistencia de esta planta, así como analizar la respuesta de esta especie frente a otros metales, a fin de determinar el comportamiento frente a este tipo de insultos

medioambientales, considerando especialmente el uso culinario que tienen las flores, y por lo tanto, en la salud de los consumidores.

Referencias

- Amneklev, J., Augustsson, A., Sörme, L., & Bergbäck, B. (2016). Bismuth and silver in cosmetic products: A source of environmental and resource concern?. *Journal of Industrial Ecology*, 20(1), 99-106. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12251>
- Amneklev, J., Sörme, L., Augustsson, A., & Bergbäck, B. (2015). The increase in bismuth consumption as reflected in sewage sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226, 1-11. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7X6JR3X/>
- Brevik, E. C., Slaughter, L., Singh, B. R., Steffan, J. J., Collier, D., Barnhart, P., & Pereira, P. (2020). Soil and human health: current status and future needs. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1-23. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1178622120934441>
- Cai, X., & Ostroumov, S. A. (2020, 5-7 de noviembre). Discovery of detergent toxicity using non-animal bioassay. En V. V. Ermakov, M. V. Kapitalchuk, I. P. Kapitalchuk, L. V. Perelomov, V. A. Sheptitskiy & E. D. Melnicenco (editores). International Biogeochemical Symposium [Simposio]. *Biogeochemical innovations under the conditions of the biosphere technogenesis correction*. Tiraspol, Moldavia.
- Da Silva, L. M., & Da Silva, F. J. (2023). Toxic Effects Promoted by a Commercial Detergent on the Germination and Initial Development of Cucumber Seedlings (*Cucumis sativus* L.). *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 18(2), 3-9. <https://eec.ecotoxbrasil.org.br/index.php/eec/article/view/92>
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., & Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The scientific world journal*, 1, 756120. <https://doi.org/10.1155/2015/756120>
- Estrada, D. L., Chang, W. T., & Heinrich, M. (2024). From “traditional” to modern medicine: A medical and historical analysis of *Tagetes erecta* L. (Cempasúchil). *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 15, 6-14. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2024.08.001>

- Georgescu, A. M., Ursachi C., Ungureanu, C. V., & Răducanu, D. (2023). Phytotoxic effects of a common laundry detergent on lettuce (*lactuca sativa* L.) using the mathematical modelling of factorial type. *Scientific Studies & Research. Seria Biologie*, 32(1), 37-41.
- Heidari, H. (2012). Effect of irrigation by contaminated water with cloth detergent on plant growth and seed germination traits of maize (*Zea mays*). *Life Science Journal*, 9(4), 1587-1590. https://www.lifesciencesite.com/ljsj/life0904/241_11901life0904_1587_1590.pdf
- Heidari, H. (2013). Effect of irrigation with contaminated water by cloth detergent on seed germination traits and early growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Notula Scientia Biologicae*, 5(1), 86-89. <https://www.notulaebiologicae.ro/index.php/nsb/article/view/9003>
- Hernández-Baranda, Y., Echevarría-Machado, I., Rodríguez-Hernández, P., & Estrada-Medina, H. (2023). Effect of detergents on the germination and initial growth of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) plants. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 17(3), 56-68. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/16577
- Nagata, T. (2015). Growth inhibition and IRT1 induction of *Arabidopsis thaliana* in response to bismuth. *Journal of Plant Biology*, 58, 311-317. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12374-015-0256-9>
- Nagata, T., & Kimoto, S. (2020). Growth inhibition and root damage of bismuth in *Solanum lycopersicum*. *SCIREA Journal Biology*, 54, 72-86. <https://www.scirea.org/journal/PaperInFormation?PaperID=4296>
- Nyberg, H., & Koskimies-Soininen, K. (1984). The phospholipid fatty acids of *Porphyridium purpureum* cultured in the presence of Triton X-100 and sodium desoxycholate. *Phytochemistry*, 23(11), 2489-2493. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031942200840819>
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & DeVries, N. K. (2018). Greywater characteristics, treatment systems, reuse strategies and user perception—a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(8), 255-273. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30237637/>
- Passatore, L., Pietrini, F., Carloni, S., Massimi, L., Giusto, C., Zacchini, M., & Iannilli, V. (2022). Morpho-physiological and molecular responses of *Lepidium sativum* L. seeds induced by

- bismuth exposure. *Science of the Total Environment*, 831, 154896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154896>
- Pierattini, E. C., Francini, A., Raffaelli, A., & Sebastiani, L. (2018). Surfactant and heavy metal interaction in poplar: a focus on SDS and Zn uptake. *Tree physiology*, 38(1), 109-118. <https://academic.oup.com/treephys/article/38/1/109/4690695>
- Sharma, A. K., Sharma, M., Sharma, A. K., & Sharma, M. (2023). Mapping the impact of environmental pollutants on human health and environment: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 255, 107325. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107325>
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13-34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-63462009000100002&script=sci_abstract&tlng=es
- Slikkerveer, A., & de Wolff, F. A. (2023). Toxicity of bismuth and its compounds. *Toxicology of Metals*, Volume 1, 439-454. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003418917-39/toxicity-bismuth-compounds-anja-slikkerveer-frederik-de-wolff>
- Uzma, S., Khan, S., Murad, W., Taimur, N., & Azizullah, A. (2018). Phytotoxic effects of two commonly used laundry detergents on germination, growth, and biochemical characteristics of maize (*Zea mays L.*) seedlings. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-14. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30338395/>
- Valdez-Aguilar, L. A., Grieve, C. M., & Poss, J. (2009). Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: II. Mineral Ion Relations. *HortScience*, 44(6), 1726-1735. <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/44/6/article-p1726.xml>
- Wei, H., Tang, M., & Xu, X. (2023). Mechanism of uptake, accumulation, transport, metabolism and phytotoxic effects of pharmaceuticals and personal care products within plants: A review. *Science of The Total Environment*, 892, 164413.
- Zacchini, M. (2024). Bismuth interaction with plants: uptake and transport, toxic effects, tolerance mechanisms-a review. *Chemosphere*, 360, 142414. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142414>

Daniel Bello Parra¹, Félix Murrieta Domínguez¹, Alberto Ceballos¹, Alicia Peralta Maroto², Senén Juárez León³

Página 228

Resumen

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es una técnica de producción de alimento proteínico de alta calidad para animales de granja, propicia para zonas áridas o semiáridas, puesto que permite la reutilización del agua de riego; o para campesinos interesados en producir alimento vivo de bajo precio, con alta digestibilidad y calidad nutricional. Este trabajo tiene como objetivo establecer pautas claras y procedimientos estandarizados analizando las variables que intervienen en el cultivo y permita la optimización del proceso de producción en un invernadero de FVH. Para ello, se conoció la operatividad del invernadero mediante mapas de proceso, se evaluó las variables que intervienen en el proceso de cultivo para establecer las condiciones óptimas de producción en el invernadero y determinar la variabilidad de los parámetros que inciden en la producción del cultivo como Humedad y Temperatura, a través del uso de herramientas de control estadístico. El cultivo ejecutado a base de la semilla de cebada determinó un intervalo de confianza de $13.36 \leq 20 \leq 26.64$ °C grados de temperatura y un intervalo de confianza para la humedad de $47.97 \leq 67.1 \leq 86.23$ % esto debido a que garantiza un ciclo de producción más uniforme. La estandarización del proceso de producción en el invernadero de forraje verde hidropónico en la localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz; permitió controlar variables clave como temperatura, humedad, y garantiza un suministro continuo y de alta calidad, reduciendo la dependencia de forrajes externos y fortaleciendo la autosuficiencia alimentaria para el ganado local.

Palabras clave: Control estadístico, mapa de procesos, procedimientos, variabilidad.

Introducción

En las últimas décadas, la agricultura ha experimentado una transformación significativa debido a la creciente demanda de alimentos, el cambio climático y la necesidad de desarrollar prácticas agrícolas más sostenibles. En este contexto, los invernaderos hidropónicos han emergido como una solución innovadora, eficiente y respetuosa con el medio ambiente, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas dificultan la producción agrícola tradicional. El cultivo de forraje verde hidropónico (FVH) ha ganado especial relevancia, al ser una alternativa viable para la producción de alimento para ganado en áreas donde el acceso a pastos naturales es limitado o estacional.

Altotonga, Veracruz, es una región caracterizada por su clima húmedo y su vocación agrícola, se encuentra en la región montañosa del centro de Veracruz, a una altitud media de 1,400 metros sobre el nivel del mar. Su clima templado- húmedo, con lluvias abundantes durante gran parte del año, influye en las actividades agrícolas predominantes, donde la ganadería juega un papel crucial en la economía local. No obstante, la producción de forraje enfrenta limitaciones debido a las condiciones climáticas y la disponibilidad de tierras. Estas condiciones han llevado a explorar alternativas sostenibles que mejoren la productividad agrícola y aseguren la disponibilidad de alimento para el ganado durante todo el año. El FVH se ha posicionado como una tecnología con gran potencial para la región, al permitir la producción de forraje de alta calidad en espacios reducidos y con un consumo eficiente de agua.

Este estudio buscó desarrollar un modelo estandarizado de producción de forraje verde hidropónico en la localidad de Ignacio Zaragoza, municipio de Altotonga, Veracruz, que sea replicable y adaptable a las condiciones específicas de la región, mediante el conocimiento del proceso a través de mapas de procesos, se evaluó variables que intervienen en el proceso de cultivo para establecer condiciones óptimas de producción en el invernadero y determinar la variabilidad de los parámetros que inciden en la producción del cultivo como: Humedad, Temperatura, a través del uso de herramientas básicas de control estadístico, para finalmente establecer pautas claras mediante procedimientos estandarizados que permitió describir, de forma detallada y organizada instrucciones y pasos necesarios para realizar tareas específicas dentro del proceso de cultivo. Para facilitar la consistencia, eficiencia y calidad en la ejecución de cada uno de los procesos.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo el análisis y estandarización del cultivo de Forraje Verde Hidropónico (FVH) en la localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz, se implementó una metodología que permitió identificar y analizar las condiciones de producción. Este proceso se desarrolló en fases, utilizando herramientas y técnicas adecuadas para garantizar la reproducibilidad y escalabilidad de los resultados obtenidos.

Materiales

Se utilizó un invernadero Mini Green de estructura metálica, con cubierta de polietileno translúcido, dimensiones: 6m x 5m (30m²) y equipos de monitoreo de temperatura, humedad relativa. Sistemas hidropónicos con bandejas de cultivo modulares de polietileno o PVC (1m x 0.4m x 0.05m) para la germinación y desarrollo del forraje. Además, un sistema de riego automatizado por nebulización para control preciso del agua y depósitos de solución nutritiva y bombas de agua. También se utilizaron semillas de gramíneas (cebada) seleccionadas por su capacidad de adaptación al sistema hidropónico y su alto rendimiento en producción de forraje. Finalmente, se usaron soluciones nutritivas consistente en fertilizantes hidrosolubles que proporcionan nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros) en proporciones adecuadas para el crecimiento óptimo del forraje.

Métodos

Conocimiento del proceso

Elaboración de mapa de procesos (Niebel y Freivalds, 2009) para la selección de sitio y preparación del invernadero. Se instalaron sistemas de riego automatizados y sensores ambientales para controlar las condiciones internas del invernadero.

Análisis de datos

Dentro del invernadero, fue necesario hacer uso de instrumentos para obtener una visión completa del ambiente en el que se produce el forraje, esto a través de higrómetros que permite la medición el nivel de humedad en el aire, termómetro digital con una visualización digital fiable y precisa con una escala de temperatura de aspecto tradicional añadida. Se realizó un análisis estadístico (Evans y Lindsay, 2008) donde se revisó las variables que intervienen en el proceso de producción de forraje verde hidropónico (temperatura, humedad) para el invernadero Mini Green ubicado en la comunidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga. Se requirió de la recolección de lecturas de las variables mediante hojas de verificación (Escalante-Vázquez, 2006) durante un periodo de 12 días en diferentes horarios. Los datos pasaron a ser analizados mediante gráficas de control (Escalante-Vázquez, 2006) para conocer su comportamiento y poder compararlos con especificaciones técnicas y determinar si están fuera o bajo control.

Por consiguiente, se realizaron diagramas de Pareto (Galgano, 1995) para identificar las causas vitales y triviales que intervienen en la producción de FVH. A través de diagramas de dispersión (Luceño-Vázquez y González-Ortiz, 2005) se comparó la relación que existe entre las variables de temperatura y humedad para conocer qué tan relacionados están.

Interpretación de resultados

Mediante un diagrama de Ishikawa se detectó la causa raíz que dificulta la determinación de las variables óptimas para la producción de forraje y las condiciones inapropiadas para la semilla.

Manual de procedimientos

Se realizó un Manual de Procedimientos, que dispone la documentación necesaria que permitió la estandarización en el área del invernadero, el cual regirá el control de las operaciones que intervienen en el proceso de producción de forraje verde hidropónico facilitando la evaluación de la producción de FVH, de manera que se haga el mejor aprovechamiento de los recursos materiales. Esta documentación permitió una estandarización del proceso cumpliendo los principales objetivos que tiene el invernadero, ya que determinó las responsabilidades que tendrá cada uno de los colaboradores en cada una de las actividades ejecutadas, facilita el seguimiento y el control de los procesos que se llevan a cabo dentro del invernadero de FVH.

Resultados

Mapa de procesos

La elaboración de un maquetado del invernadero con la herramienta SketchUp (Figura 1), permite visualizar el flujo de trabajo en el proceso productivo, identificar la secuencia de actividades, movimientos y distribución de recursos, así como optimizar la disposición de los elementos dentro de un espacio como maquinaria, personal o materiales.

Para conocer la operatividad del invernadero de forraje verde hidropónico, se realizó un mapeo detallado de los procesos de producción. Este mapeo se llevó a cabo utilizando la técnica de diagramas de flujo (Figura 2), los cuales permitió representar de manera gráfica la secuencia de actividades desde la preparación de la semilla hasta la cosecha del forraje.

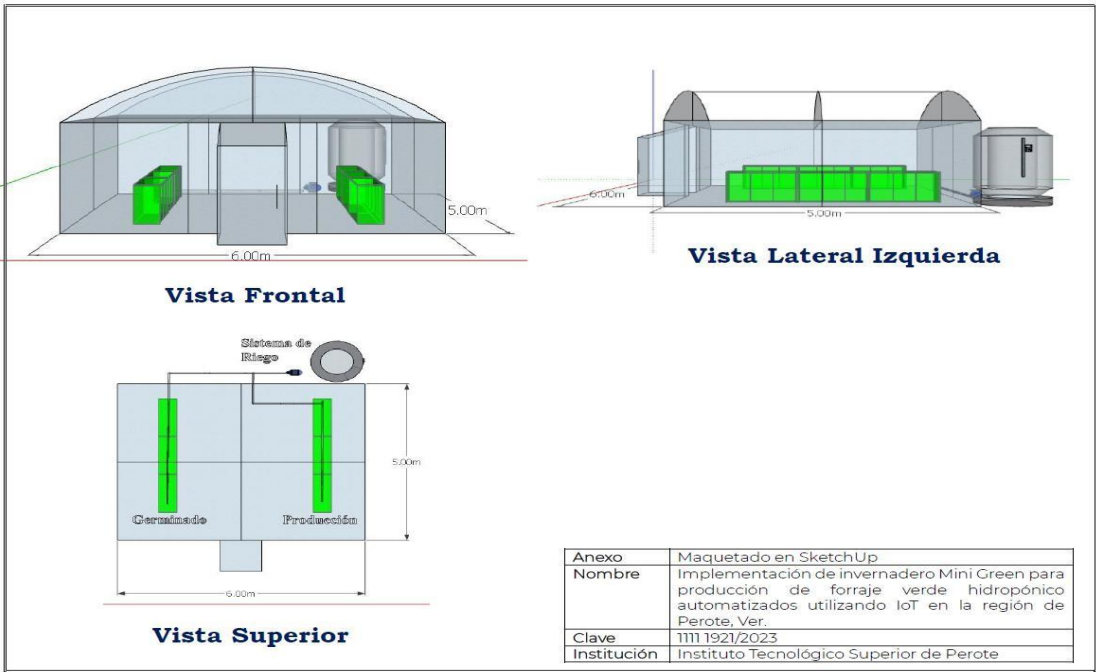


Figura 1. Maquetado invernadero Mini Green

Nota: Disposición de elementos dentro del espacio del invernadero Mini Green, comunidad de Ignacio Zaragoza, municipio de Altotonga, Veracruz.

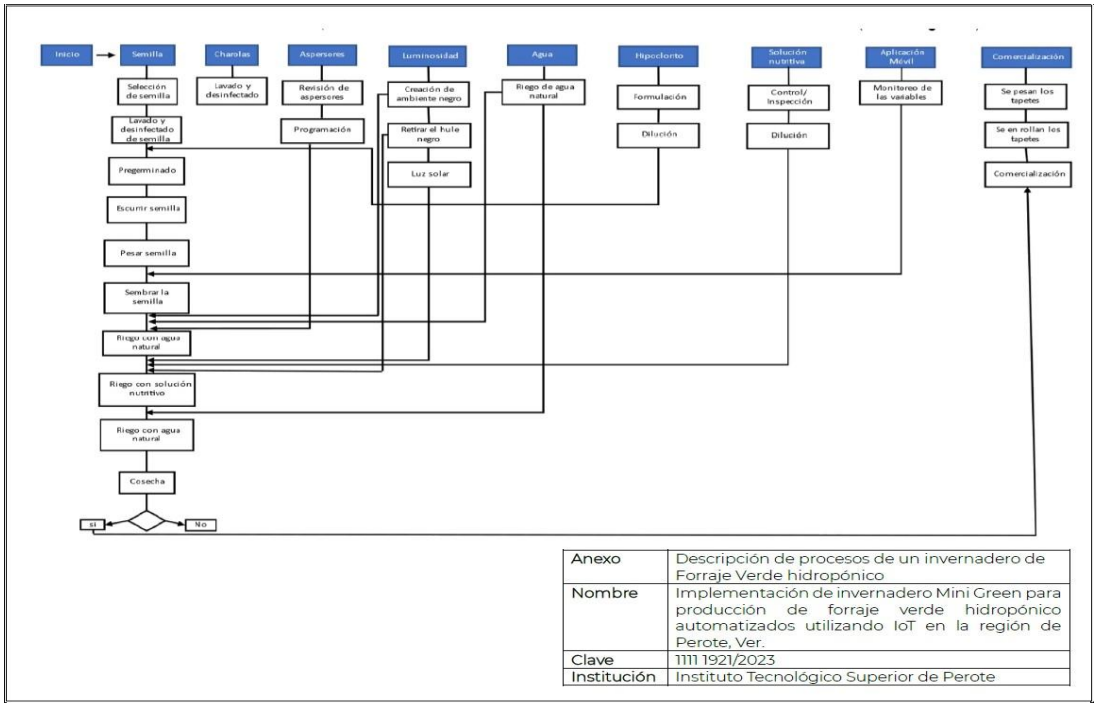


Figura 2. Mapa de procesos

Nota: Representación gráfica de los procesos para el cultivo de forraje verde hidropónico en la comunidad de Ignacio Zaragoza, municipio Altotonga, Veracruz.

Análisis de datos

Dentro del invernadero, fue necesario hacer uso de instrumentos que permitió el monitoreo y registro de variables claves presentes en la producción de forraje para obtener una visión completa del ambiente en el que se produce el forraje, estos registros se realizaron en hojas de verificación para posteriormente realizar el análisis y evaluación correspondiente a través de herramientas básicas, gráficos de control X-R (utilizada para monitorear la variabilidad, estabilidad y consistencia de las variables) y diagramas de Pareto. Implementar estas herramientas permitió mantener un control más exacto sobre las variables ambientales en el invernadero, asegurando un entorno óptimo para la producción de FVH. Se elaboró una hoja de verificación (Tabla 1) para el registro de lecturas de temperatura tomadas durante un ciclo de producción de 12 días en horarios aleatorios en el invernadero Mini Green establecido en la comunidad de Ignacio Zaragoza.

Tabla 1. Hoja de verificación para el registro de la temperatura de la cebada

		Invernadero de Forraje Verde Hidropónico			
		Ignacio Zaragoza, Altotonga			
		Hoja de verificación para la temperatura			
		Semilla de cebada			

No. de siembra: 1		Tipo de semilla: Cebada	Día de siembra: 06 de septiembre de 2024		
Día	Fecha	Temperatura (°C)	Observaciones		
1	06-sep-2024	30.4	Se sembró la semilla de cebada		
		33.0			
		28.8			
2	07-sep-2024	20.3			
		22.2			
		19.4			
3	08-sep-2024	15.8			
		15.1			
		16.3			
4	09-sep-2024	36.4			
		35.0			
		15.2			
5	10-sep-2024	21.9	Cambio de riego de agua natural a riego con nutrientes.		
		21.0			
		21.0			
6	11-sep-2024	26.6			
		24.7			

		22.9	
7	12-sep-2024	29.0	
		25.8	
		24.7	
		23.3	
8	13-sep-2024	23.3	
		20.0	
		32.7	
9	14-sep-2024	25.9	Aumento de temperatura
		19.2	
		34.4	
10	15-sep-2024	34.9	Altas temperaturas provocadas por la infiltración de calor.
		30.3	
		34.0	
11	16-sep-2024	32.8	Disminución de temperatura por lluvias.
		16.1	
		20.3	
12	17-sep-2024	25.1	Día de cosecha de forraje verde hidropónico.
		18.8	

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica X-R (Figura 3) muestra los datos de la temperatura, la cual presentó un comportamiento donde la mayoría de ellos están bajo control, esto se corrobora a través de las especificaciones técnicas establecidas con tablas de factores para cartas de control (Montgomery, 2004), donde se planteó un intervalo de confianza de $13.36 \leq 20 \leq 26.64$ °C, lo cual representó que dentro del invernadero se tiene una temperatura adecuada.

Mediante un diagrama de Pareto de la temperatura (Figura 4), se identificó las problemáticas principales a través de un procedimiento de tres lecturas diarias durante los doce días de producción donde se detectó estas problemáticas con ayuda del higrómetro en su registro de la máxima (36.4 °C) y la mínima (15.1 °C) temperatura que presentó durante el día y la noche, respectivamente, y de manera visual se se analizó que otra causa vital que afectó en la producción, fue la filtración de aire por las cortinas del invernadero. Al no realizar un buen uso de las cortinas del invernadero se tienen variaciones de la temperatura.

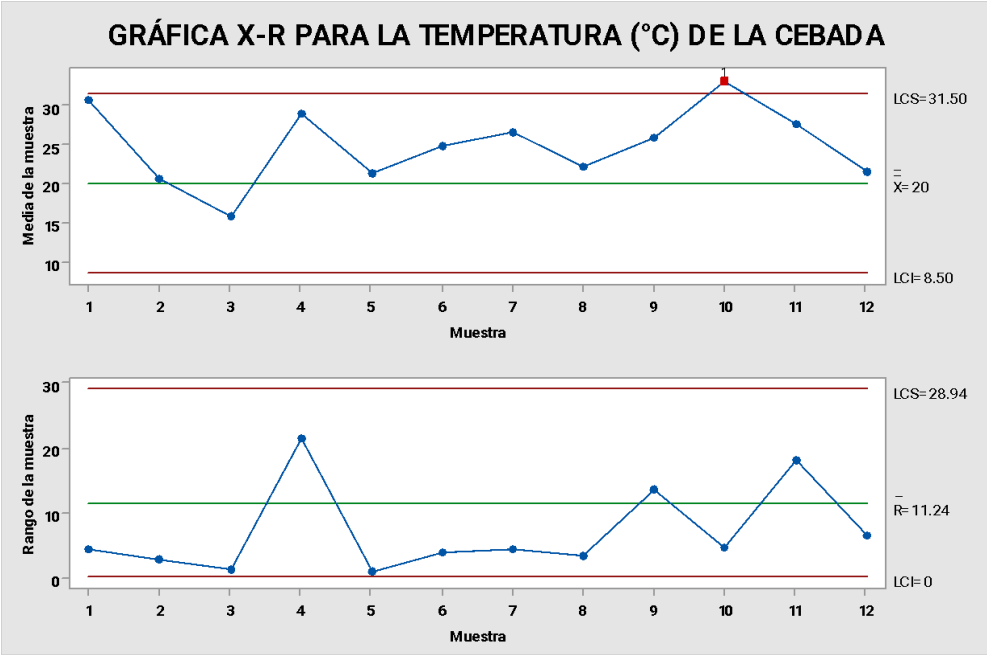


Figura 3. Gráfica X-R

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Muestra el comportamiento de temperaturas registradas durante 12 días de proceso productivo de cebada, en el invernadero de Forraje Verde Hidropónico, Localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz

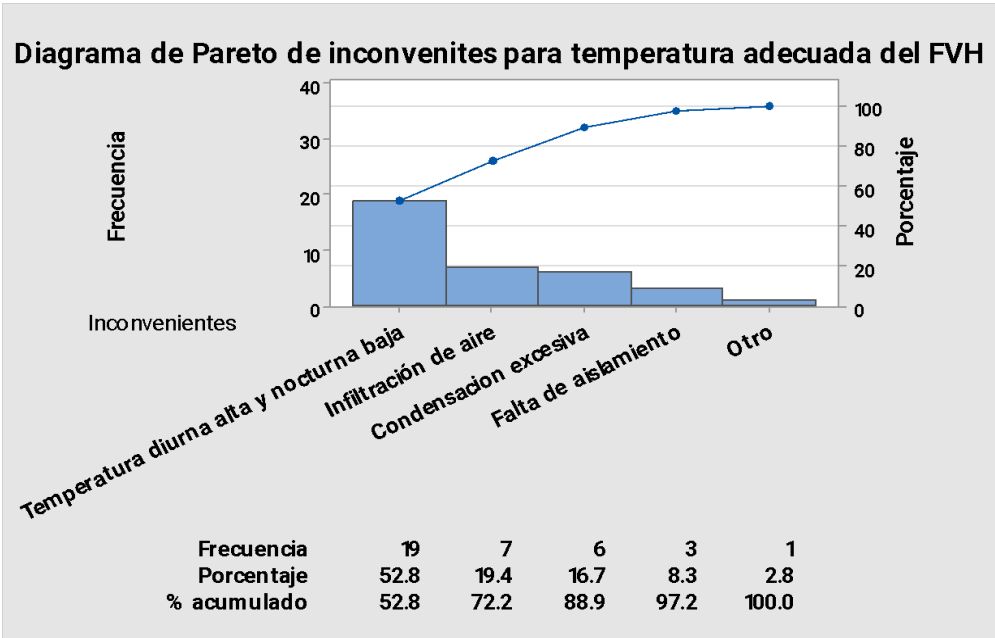


Figura 4. Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Permite identificar y priorizar problemas vitales y triviales en la operatividad del invernadero con respecto a la temperatura dentro del invernadero de forraje verde hidropónico en la comunidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz

Posteriormente se elaboró una hoja de verificación (Tabla 2) para el registro de las lecturas de humedad durante un ciclo de producción de 12 días en horarios aleatorios.

Tabla 2. Hoja de verificación

		Invernadero de Forraje Verde Hidropónico		 INDUSTRIAL
		Ignacio Zaragoza, Altotonga		
		Hoja de verificación para el registro de Humedad		
No. de siembra: 1		Tipo de semilla: Cebada	Día de siembra: 06 de septiembre de 2024	
Día	Fecha	Humedad (%)	Observaciones	
1	06-sep-2024	61	Siembra de la semilla de cebada	
		51		
		56		
2	07-sep-2024	83		
		98		
		83		
3	08-sep-2024	62		
		90		
		85		
4	09-sep-2024	30	Las altas temperaturas provocaron baja humedad.	
		35		
		90		
5	10-sep-2024	77		
		80		
		73		
6	11-sep-2024	59	Presencia de hongo en el FVH	
		66		
		76		
7	12-sep-2024	44		
		71		
		74		
8	13-sep-2024	65	Día lluvioso provocó alta humedad	
		72		
		91		
9	14-sep-2024	42		
		64		
		81		
10	15-sep-2024	39	Altas temperaturas provocaron baja humedad	
		40		
		55		
11	16-sep-2024	45		
		55		
		92		
12	17-sep-2024	60	Cosecha de forraje verde hidropónico.	
		73		
		96		

Fuente: Elaboración propia

La gráfica X-R (Figura 5) especifica los comportamientos de la humedad comparados con especificaciones técnicas con tablas de factores para cartas de control (Montgomery, 2004) en la se determinó un intervalo de confianza de $47.97 \leq 67.1 \leq 86.23$ % para el desarrollo del cultivo, en base a los comportamientos se determina que el proceso está bajo control. La gráfica de rangos (R) nos muestra que en su mayoría de datos recopilados se encuentran dentro de una media de 32.39 % lo que establecen una buena relación entre las muestras de humedad.

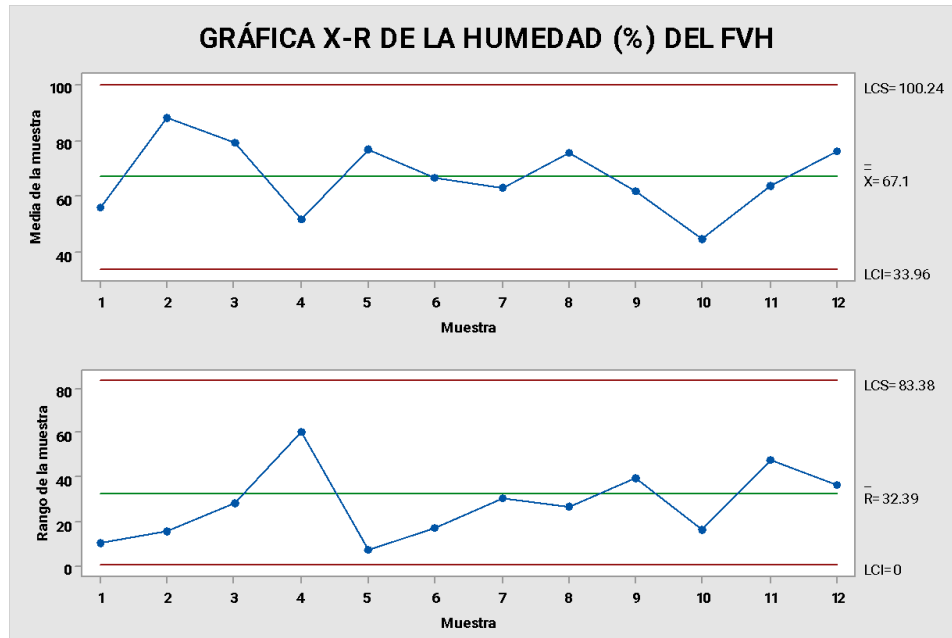


Figura 5. Gráfica de control X-R

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Muestra el comportamiento de las humedades registradas durante 12 días de proceso productivo de cebada, en el invernadero de Forraje Verde Hidropónico, Localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz.

Mediante un diagrama de Pareto (Figura 6) se muestra los datos de la humedad, se identificó las problemáticas presentadas a través de un procedimiento de tres lecturas diarias durante los doce días de producción en horarios aleatorios donde se identificó que el problema vital es la alta humedad ambiental registrada en esta zona, a consecuencia de los días lluviosos que se presentó durante la producción. Además, al realizar 8 riegos durante un solo día (incluso en días lluviosos) provocó un aumento mayor de humedad ayudando a la propagación del hongo.

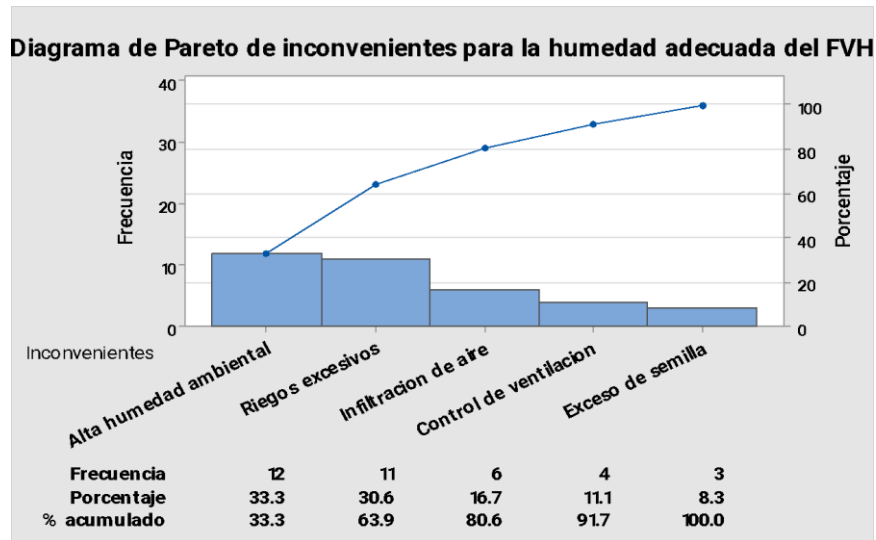


Figura 6. *Diagrama de Pareto*

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Permite la Identificación de problemas vitales y triviales en la operatividad del invernadero con respecto a la humedad, en la comunidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz

La gráfica de dispersión (Figura 7) de temperatura (°C) versus humedad (%) muestra una relación negativa entre ambas variables, ya que se presentan fluctuaciones causadas por el cambio constante del clima. La relación presente entre la humedad y la temperatura dio como resultado que a mayor temperatura disminuye la humedad dentro del invernadero lo que ocasiona el rezago en el crecimiento del cultivo, dejándolo expuesto a conseguir alguna plaga. Se tiene una regresión lineal del 76.9 %.

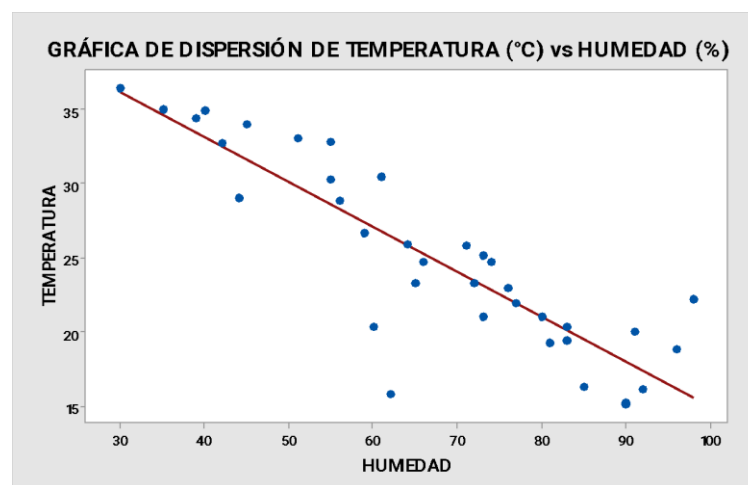


Figura 7. *Gráfica de dispersión*

Nota: Elaboración propia. para determinar la relación entre las variables de temperatura y humedad de la semilla de cebada

Interpretación de resultados

El análisis realizado mediante el diagrama de Ishikawa (Figura 8) dio a conocer los desfases que se tuvieron durante la producción, y entre los principales problemas vitales que se presentó fueron los almacenes inadecuados, debido a que la semilla fue almacenada en un lugar donde estaba en constante contacto a la humedad por lo tanto esta semilla presentó hongo, así como algunas semillas presentaron germinación antes de tiempo. Otro de los factores principales fue el no realizar una adecuada desinfección de la semilla lo que provocó que en futuras fechas tuviera presencia de hongos.

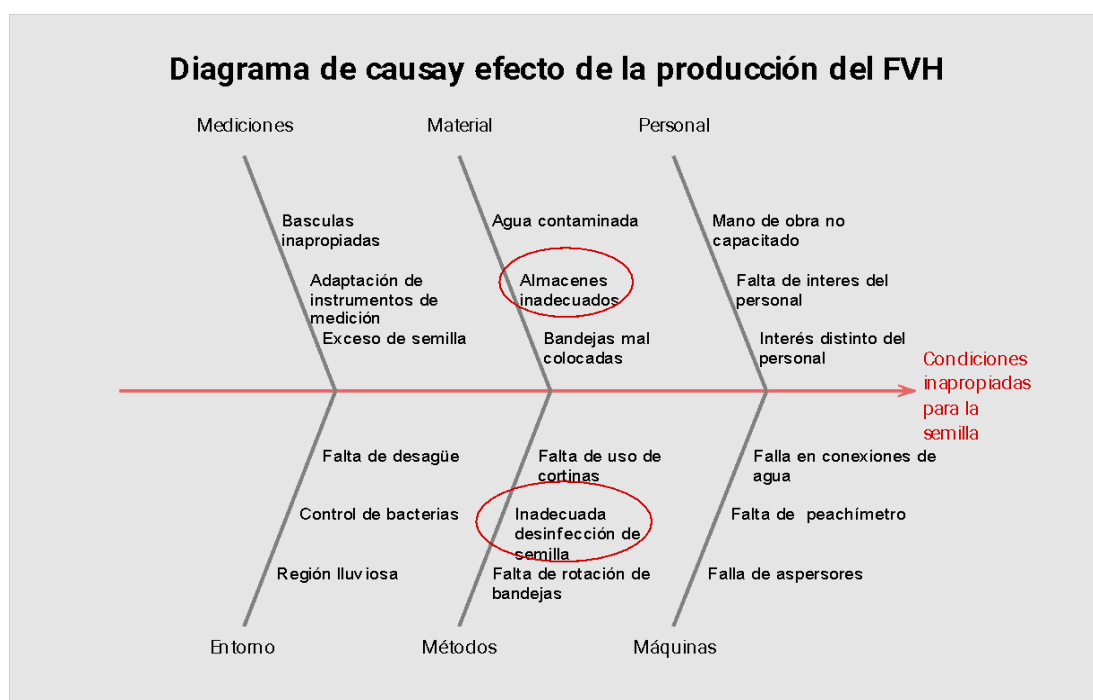


Figura 8. Diagrama de Ishikawa

Nota: Elaboración propia. Muestra la causa raíz-problema que genera las condiciones inapropiadas para la semilla de cebada, en el invernadero de Forraje Verde Hidropónico, Localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz

Manual de procedimientos

El proceso de producción del forraje verde hidropónico consiste en la germinación de semillas de cereales y leguminosas principalmente, para hacerlas crecer en condiciones ambientales controladas y así obtener una biomasa vegetal utilizada como alimentación de

animales, principalmente de pastoreo. Según (Rodríguez, 2002), el estudio de los sistemas y procedimientos administrativos es fundamental para mejorar la eficiencia de las organizaciones, ya que permite identificar y optimizar los procesos clave en la gestión empresarial.

Estos procesos se encuentran debidamente especificados mediante un manual de procedimientos, lo cual permitió la estandarización de los procesos cumpliendo los principales objetivos que tiene el invernadero, ya que determinó las responsabilidades que tendrá cada uno de los colaboradores en cada una de las actividades ejecutadas, facilitando el seguimiento y el control de los procesos que se llevan a cabo dentro del invernadero de FVH. A través de la tabla 3, se establece la trazabilidad para conocer la etapa en que se encuentra la prestación del servicio o la producción del bien. Esta será identificada en cada proceso de producción, con la inicial de cada actividad, así se detectará quien lo hizo y en qué fase fue en caso de presentar fallas será modificado inmediatamente. Por fines de estructura, se presenta la trazabilidad de procedimientos establecidos de acuerdo con el mapeo de procesos presentados en el punto 3.1.

Tabla 3. Trazabilidad de procedimientos

#	Código	Proceso	Descripción
1	INVRO-FVH-SNDSL	Selección de semilla	Se selecciona la semilla que se utilizara para la producción de FVH
2	INVRO-FVH-LDSAC	Lavado y desinfectado de semilla (agua con cloro) NOM-127-SSA1-1994	Lavar la semilla con el propósito de retirar toda aquella impureza que flota y desinfectarla para eliminar el hongo que contenga la semilla
3	INVRO-FVH-RSCPR	Remojar semilla con cal (pregerminado)	Se remoja la semilla en agua de cal con el propósito de hacer el pre germinado, evitando que la formación de hongos durante la producción
4	INVRO-FVH-INSP	Inspección	Verificar que se expulsan todas aquellas impurezas que tiene la semilla
5	INVRO-FVH-LDSCH	Lavado y desinfectado de charolas NOM-127-SSA1-1994	Se lavan y desinfectan cada una de las charolas para retirar el residuo del sustrato de la cosecha anterior
6	INVRO-FVH-ACDCS	Acomodo de charolas	Se acomodaron las charolas en el lugar que les correspondía y de la forma correcta
7	INVRO-FVH-RVDAS	Revisión de Aspersores	Se revisará cada uno de los aspersores, con el propósito de verificar que todos funcionen, rieguen la misma cantidad y evitar que haya rezago en el crecimiento de la planta
8	INVRO-FVH-ECSEL	Ecurrir semilla	Ecurrir la semilla para eliminar el exceso de agua y al momento de pesar el kilogramo de semilla sea exacto
9	INVRO-FVH-PESEM	Pesar la semilla	Se pesará la semilla, con el objetivo que cada una de las charolas contengan la misma cantidad

10	INVRO-FVH-SSCHS	Sembrar semilla en las charolas	Una vez que tenemos la cantidad de semilla pesada, está se sembrará y se esparcirá en las charolas
11	INVRO-FVH-INSP2	Inspección	Inspeccionar visualmente que cada una de las charolas contengan la misma cantidad y estén bien colocadas
12	INVRO-FVH-CAOG	Creación de ambiente oscuro (germinación)	Se cubren los estantes con hule negro, esto con el objetivo de mantener en oscuro la semilla y estimular el desarrollo
13	INVRO-FVH-INSP3	Inspección	Inspeccionar que el hule cubra todo el estante y que las charolas estén en total oscuridad y de la misma manera verificará que les entre la misma oxigenación
14	INVRO-FVH-PNDAS	Programación de aspersores	Programar el temporizador para que riegue la semilla constantemente, con el fin de mantener la humedad
15	INVRO-FVH-RCAN	Riego con agua natural	La semilla se regará con agua natural, con la finalidad de que la planta se desarrolle en tiempo y forma
16	INVRO-FVH-INSP4	Inspección	Se inspeccionará que el temporizador funcione correctamente para realizar el riego
17	INVRO-FVH-MVICA	Monitoreo de las variables que intervienen en la cosecha	Se verificarán las condiciones climáticas que intervienen en la producción de FVH a través de La aplicación móvil diseñada para el invernadero
18	INVRO-FVH-SRHN	Se retira el hule negro	Después de 5 días se retira el hule negro, permitiéndole a la planta recibir la luminosidad
19	INVRO-FVH-INSP5	Inspección	Verificar que todas las charolas hayan germinado
20	INVRO-FVH-LMDAD	Luminosidad	Una vez pasado los 5 días de oscuridad, la planta se someterá a la luz solar para terminar su reproducción.
21	INVRO-FVH-RCSNV	Riego con la solución nutritiva	A partir del sexto día, el riego será con el nutriente. Para la obtención de un forraje proteínico.
22	INVRO-FVH-RCAN2	Riego con agua natural	Se regará la planta por 2 días con la finalidad de eliminar el exceso de sales
23	INVRO-FVH-INSP5	Inspección	Inspeccionar que el tapete se haya desarrollado completamente
24	INVRO-FVH-CODFJ	Cosecha del forraje	Se recoge cada uno de los tapetes a los 15 días, con para evitar la creación de plaga y que se seque.
25	INVRO-FVH-MADPL	Medir la altura de la planta	Se mide la altura de la planta, para verificar que alcanzó la estatura adecuada
26	INVRO-FVH-PCTFV	Pesar cada tapete de forraje verde	Se pesa cada uno de los tapetes con el propósito de saber cuántos kilos de forraje verde se comercializará.
27	INVRO-FVH-ERTTS	Enrollar tapetes	Se enrollará cada uno de los tapetes con la finalidad de tener el manejo correcto sobre ellos
28	INVRO-FVH-CMLZN	Comercialización	Se comercializará el forraje, con el propósito de tener una remuneración económica

Nota: Trazabilidad de proceso de acuerdo con el manual de procedimientos e instrucciones de trabajo elaborados para la estandarización del proceso de cultivo de cebada, en el invernadero de Forraje Verde Hidropónico, Localidad de Ignacio Zaragoza, Altotonga, Veracruz

Discusión y conclusión

Los resultados muestran que el control de variables como temperatura, humedad en los invernaderos mejora la calidad y el rendimiento del forraje verde, asegurando un crecimiento uniforme y consistente. En investigaciones previas, como las de Jiménez y Pérez (2017), se observó que la manipulación de la temperatura y la humedad en sistemas hidropónicos cerrados incrementa la tasa de crecimiento de especies forrajeras, lo cual se alinea con los resultados actuales, donde la regulación de estos factores ha sido esencial para obtener un producto homogéneo y de alta calidad.

Además, estudios como el de Morales y Sánchez (2019) han demostrado que el control de la calidad del agua en los sistemas hidropónicos reduce la incidencia de enfermedades y mejora la absorción de nutrientes, lo cual es fundamental para mantener la salud del cultivo y prolongar su ciclo productivo en sistemas estandarizados. Este hallazgo destaca la importancia de monitorear el pH y la conductividad eléctrica del agua para asegurar el desarrollo óptimo de las plantas.

En cuanto a la sostenibilidad de la producción, Martínez et al., (2021) resaltan cómo la estandarización de procesos en sistemas hidropónicos contribuye a la sostenibilidad agrícola al reducir el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental. De acuerdo con los resultados obtenidos del proyecto realizado en el invernadero de forraje verde hidropónico en localidad de Ignacio Zaragoza, municipio de Altotonga, Veracruz, se concluye mediante el análisis estadístico y con base a herramientas de control de estadístico que el proceso se encuentra bajo control y la causa raíz del problema se debe a la incorrecta gestión ambiental y desinfección adecuada de las semillas antes de iniciar el proceso de germinación. Desde su adquisición las semillas no han sido correctamente desinfectadas y pueden llevar contaminantes como agentes patógenos (hongos o esporas), lo cual pone en riesgo no solo el rendimiento del cultivo, sino también la sanidad general del invernadero.

Así mismo no se cuenta con una referencia específica donde se estipule las condiciones óptimas en las que se debe de desarrollar el forraje verde hidropónico, ya que solo se logra contar con un Manual de Forraje Verde Hidropónico (Hidroenvironment, 2024), el cual tiene rangos de temperatura bajos, lo que origina un ambiente inapropiado en la región. Ante ello se determinó un

intervalo de confianza de $13.36 \leq 20 \leq 26.64$ °C grados de temperatura y un intervalo de confianza para la humedad de $47.97 \leq 67.1 \leq 86.23$ %, lo que garantiza un ciclo de producción más uniforme.

En su artículo, el autor A. Sánchez (2000) describe la producción de forraje verde hidropónico (FVH) como una técnica que implica la germinación de semillas de cereales y leguminosas en condiciones ambientales controladas, con el objetivo de obtener una biomasa vegetal utilizada como alimentación para animales, especialmente aquellos destinados al pastoreo. Sánchez destaca que este método permite la producción de forraje de alta calidad nutricional, independientemente de las condiciones climáticas, y ofrece una alternativa viable para pequeños y medianos productores agropecuarios.

Según Romero Valdez et al. (2009), la producción de forraje verde hidropónico ha demostrado ser una alternativa eficiente para mejorar la alimentación del ganado lechero, mostrando una buena aceptación por parte de los animales y contribuyendo al incremento en la productividad lechera. Un manual de procedimientos es esencial para garantizar la consistencia, eficiencia y calidad en la ejecución de actividades dentro de una organización o proyecto. Su importancia radica en varios aspectos clave:

1. Estandarización de Procesos: Define cada paso de los procesos para que todos los colaboradores sigan las mismas directrices, reduciendo variabilidad en los resultados y asegurando uniformidad en la calidad.
2. Mejora Continua: Permite identificar áreas de mejora en los procedimientos, facilitando la actualización de prácticas y la implementación de métodos más eficientes conforme a las necesidades de la organización.
3. Reducción de Errores: Ayuda a minimizar errores al documentar las mejores prácticas y los pasos específicos de cada tarea, lo que reduce el margen de fallo y aumenta la seguridad.
4. Cumplimiento de Normas y Regulaciones: Asegura que las actividades cumplan con las normativas y regulaciones pertinentes, especialmente en sectores donde el cumplimiento es crucial (como el agrícola o el industrial).
5. Facilita la Supervisión y Auditoría: Ofrece una base clara para que los supervisores y auditores evalúen el cumplimiento y desempeño de los procedimientos establecidos, permitiendo ajustes en función de resultados.

Según Romero Valdez et al. (2009), la producción de forraje verde hidropónico ha demostrado ser una alternativa eficiente para mejorar la alimentación del ganado lechero, mostrando una buena aceptación por parte de los animales y contribuyendo al incremento en la productividad lechera. Futuras investigaciones podrían enfocarse en estudiar la interacción de más variables, como la calidad del agua de riego y la luz, o en explorar la producción de otros tipos de forraje bajo condiciones similares. Además, sería conveniente realizar estudios a largo plazo para evaluar el impacto del cambio de estación en la producción de FVH y verificar si los resultados obtenidos en este estudio se mantienen constantes durante todo el año.

Agradecimientos

Este capítulo es parte de un proyecto de investigación realizado con Fondos del COVEICYDET con número CP 1111 1921/2023 denominado: Implementación de invernaderos Mini Green para producción de forraje verde hidropónico automatizados utilizando IoT en la región de Perote, Veracruz.

Referencias

- Escalante-Vázquez, E. J. (2006). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. Limusa. Evans. R. J., & Lindsay. W.M., (2008). *Administración y control de la calidad*. Ed. Sexta. Editorial Thomson.
- Galgano, A. (1995). *Los siete instrumentos de la calidad total*. Díaz de Santos. Hydroenviroment (2024, 31 de julio). *Manual de instalación de invernaderos Mini Green*. Hydroenv. <https://hydroenv.com.mx/catalogo/>
- Jiménez, A., & Pérez, M. (2017). Impacto de la temperatura y humedad en la producción de forraje verde hidropónico. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 15(3), 45-56.
- Luceño-Vázquez, A., & González-Ortiz, F. J. (2005). *Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad*. PubliCan - Ediciones de la Universidad de Cantabria.
- Martínez, P., Gómez, R., & Torres, C. (2021). Estandarización y sostenibilidad en sistemas hidropónicos agrícolas. *Agricultural Sustainability Journal*, 18(1), 33-47.
- Morales, J., & Sánchez, L. (2019). Calidad del agua y su influencia en el rendimiento de sistemas hidropónicos para forraje. *Journal of Hydroponics and Agronomy*, 12(2), 78-84.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Editorial: Limusa.

- Niebel, W. B., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño de trabajo. Mc. Graw-Hill. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Alimentación [FAO]. (2001). *Forraje verde hidropónico: manual técnico*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Rodríguez, V. J. (2002). *Estudio de sistemas y procedimientos administrativos*. Tercera edición, International Thompson Editores.
- Romero Valdez, M. E., Córdova Duarte, G., & Hernández Gallardo, E. O. (2009). Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria*, 19(2), 11-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41611810002>
- Sánchez, A. (2000). *Una Experiencia de Forraje Verde Hidropónico en el Uruguay*. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° 7. Lima, Perú
- NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Diario Oficial de la Federación. <https://acortar.link/UHbFGW>
- Zárate, M.A. (2014). *Manual de hidroponía*. Universidad Nacional Autónoma de México.

**Juana Casados Molar¹, Rodrigo Cuervo González¹,
Miguel Alberto Pérez Vargas², Alejandro Cruz
Hernández², Leandro Chaires Martínez²**

247

Resumen

Las espinosinas son lactonas macrocíclicas consideradas de bajo impacto ambiental y de uso específico contra insectos plaga de cultivos agrícolas. En orden de satisfacer la demanda a nivel mundial, se han buscado diversas estrategias para elevar la concentración de espinosinas en el caldo de fermentación de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa*. Es por ello, que en la presente investigación se optó por evaluar la producción de biomasa y espinosinas a nivel de biorreactor en un sistema continuo comparado con el sistema en lote y en lote alimentado. Para ello, se llevaron a cabo corridas experimentales por triplicado para cada sistema y se determinó la producción de biomasa y espinosinas. A 28 h en sistema en lote, se obtuvo una biomasa de 0.78 g L⁻¹ y 289 mg L⁻¹ de espinosinas; cuando se trabajó hasta las 52 h en el sistema en lote alimentado, se obtuvo una biomasa de 1.08 g L⁻¹ y se incrementó la concentración de espinosinas hasta 512 mg L⁻¹; finalmente, partiendo de un sistema en lote por 28 h, se implementó el sistema continuo por 12 h más, y con una tasa de dilución de 0.078 h⁻¹ se obtuvo en promedio 26 mg L⁻¹ h⁻¹ de espinosinas en el efluente. El sistema de lote alimentado y continuo proveen una manera simple de optimizar el proceso de producción de espinosinas con el objetivo de establecer a mediano plazo una empresa regional o estatal que satisfaga la demanda en el estado de Veracruz.

Palabras clave: Bioplaguicidas, control biológico de plagas, fermentaciones aerobias, optimización de bioproceso, productividad volumétrica.

Introducción

El espinosad® es una mezcla de espinosinas (Huang et al., 2009) que se obtiene del metabolismo secundario de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa* y se ha considerado un plaguicida específico contra insectos y de bajo impacto ambiental (Waldron et al., 2001). Las espinosinas son macrólidos cuya estructura principal es una lactona tetracíclica de 21 átomos de carbono, a la cual se unen dos deoxiazúcares (L-ramnosa tri-O-metilada y la D-forosamina). Los componentes más activos de esta familia de compuestos son las espinosinas A y D (Liu et al., 2021). *Saccharopolyspora spinosa* presenta bajo rendimiento de producción de espinosinas, en parte porque se presentan numerosos mecanismos regulatorios fisiológicos (Bai et al., 2015) y debido a la pobre adaptabilidad a la producción de espinosinas por cepas heterólogas (An et al., 2021). Las estrategias tradicionales para mejorar el rendimiento de espinosinas involucran el control de

parámetros físicos y químicos en el medio de fermentación, y las investigaciones de vanguardia implican principalmente enfoques como la biosíntesis heteróloga, ingeniería metabólica y análisis ómico (Jin et al., 2006a; Jin et al., 2006b; Tan et al., 2017; Li, Pan y Liu, 2021; Bridget et al., 2022).

A la fecha, se siguen aportando conocimientos sobre el tema de producción de espinosinas. En un trabajo previo por el grupo de trabajo (Martínez-Chávez et al., 2018), se demostró que las condiciones de trabajo para obtener una mayor densidad celular en tanque agitado de 10 L fueron: temperatura de 26 °C, sin control de pH, 110 rpm y 2.5 vvm de aireación. En general, en la literatura especializada se ha trabajado con cultivos en sistema en lote, salvo el reporte de Lu et al. (2017), quienes propusieron el diseño de un nuevo biorreactor para promover mejor oxigenación en el cultivo y obtuvieron mejores resultados al trabajar en sistema en lote alimentado. A nuestro conocimiento, no existen reportes de producción de espinosinas en un sistema continuo. En comparación con los procesos de fermentación por lote y lote alimentado, los procesos de fermentación continua pueden llevar a una operación del proceso en estado estacionario. En el sistema continuo, se obtiene un efluente que conlleva células, productos, nutrientes y sustratos no metabolizados. Se han reportado procesos de fermentación en sistemas continuos con diferentes productos, como el etanol (Verduyn et al., 1992), vino (Bakoyianis et al., 1992), sidra (Nedovic et al., 2000), PHA e hidrógeno (Li et al., 2014). Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue el de determinar la producción de biomasa y espinosinas en sistema continuo a nivel de biorreactor de laboratorio, comparando los resultados con el sistema en lote y lote alimentado, con la finalidad de proveer información sobre el control físico de las fermentaciones que conlleven al escalamiento viable del proceso y se generen opciones para satisfacer la demanda del producto por el sector agrícola de nuestro país.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache (ITSAT) y formó parte de la tesis de Maestría en Ciencias del Ambiente de la estudiante Juana Casados Molar, bajo la dirección del Dr. Leandro Chaires Martínez (ITSAT) y la codirección del Dr. Rodrigo Cuervo González (Universidad Veracruzana).

Material biológico

La cepa corresponde a *Saccharopolyspora spinosa* CDBB B-1920 y fue adquirida en cultivo sólido, comprada en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, cuyo registro está en la colección nacional de cepas microbianas y cultivos celulares afiliada a la WFCC (World Federation for Culture Collection) bajo el acrónimo CDBB.

Reactivación de la cepa

La cepa fue reactivada de acuerdo con la metodología de Liang, Lu y Wen (2009), donde el medio de cultivo contiene 0.3 g L⁻¹ de extracto de levadura, 0.2 g L⁻¹ de sulfato de magnesio heptahidratado, 1 g L⁻¹ de glucosa, 1.8 g L⁻¹ de agar y se ajustó el pH a 7. Posteriormente la bacteria fue sembrada en cajas Petri de 5 cm de diámetro, y fueron almacenadas en refrigeración a 4°C hasta su uso.

Fermentación en lote

El sistema en lote se llevó a cabo en un fermentador de tanque agitado Xplora (Adaptive Biosystems Ltd, UK), el cual tiene una jarra de 10 L con un volumen de trabajo de hasta 7 L. El fermentador con medio de cultivo conteniendo 3 g L⁻¹ de extracto de levadura, 2 g L⁻¹ de sulfato de magnesio heptahidratado, 10 g L⁻¹ de glucosa, fue esterilizado a una presión de 1.0 kg/cm² y a una temperatura de 121 °C durante un tiempo de 15 min. La aireación se fijó en 2.5 vvm, pH inicial de 7.0 sin control de pH durante la fermentación, velocidad de agitación de 140 rpm y temperatura de 26 °C. El tanque agitado se inoculó con 50 mL L⁻¹ de pre-inóculo, a una densidad óptica de 0.24 (Martínez-Chávez *et al.*, 2018) y se trabajó durante 28 h.

Fermentación en lote alimentado

Se comenzó en sistema en lote con una carga de 2000 mL de medio de cultivo con las mismas condiciones antes descritas. Este proceso en lote duró 22 h y después se inició con el proceso por lote alimentado, agregando medio de cultivo fresco (500 mL cada 20 h) hasta que se lograron condiciones casi estacionarias. La alimentación se adicionó al reactor bajo condiciones asépticas

utilizando una bomba peristáltica (Watson-Marlow, Modelo 323) hasta alcanzar un volumen total de 3000 mL.

Fermentación en sistema continuo

Al inicio, el cultivo se llevó a cabo en sistema lote como en los casos anteriores y a las 28 h fue operado en modo continuo. La velocidad de alimentación y de salida del medio se ajustó a un flujo de 78 mL h⁻¹. El nivel del fermentador se ajustó a un litro para obtener una tasa de dilución de 0.078 h⁻¹. La fermentación se llevó a cabo con aireación de 2.5 vvm, pH inicial de 7.0 sin control de pH durante la fermentación, velocidad de agitación de 140 rpm y temperatura de 26 °C.

Métodos analíticos

Determinación de Biomasa

La concentración de biomasa se determinó midiendo la absorbancia de la muestra a 620 nm en un espectrofotómetro UV-Vis. La densidad óptica fue relacionada con el peso seco de biomasa por unidad de volumen a través de la construcción previa de una curva de calibración. Se tomaron alícuotas de 10 mL cada 2 h durante cada corrida experimental, determinando la biomasa en peso seco después de centrifugar 15 min a 10000 rpm, se recolectaron las células sedimentadas y calentados en estufa a 105 °C por 1 h.

Determinación de glucosa

El consumo de sustrato se determinó por la técnica del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959). A 500 µL de muestra se le adiciono 500 µL del reactivo DNS, se colocó en baño en ebullición durante 5 min y después de enfriar se adicionó 10 mL de agua. Las mediciones de absorbancia se compararon con las de una curva patrón de glucosa, midiendo a 540 nm en un espectrofotómetro UV-Vis.

Determinación de espinosinas

El método de extracción de espinosinas se llevó a cabo por la metodología de Jha *et al.* (2014), en la cual fueron mezclados 10 mL de medio de cultivo procedente de cada corrida experimental y 20 mL de acetonitrilo (1:2 v/v), se puso a reposar durante 30 min con agitación y centrifugado a 10,000

rpm para separar las células. Se decantó y al sobrenadante fueron adicionados 15 mL de diclorometano. Después se evaporó el solvente en estufa a 60 °C, y recuperaron las espinosinas con acetonitrilo para su cuantificación por HPLC (Cecil Adept, modelo CE 4200). Las muestras pasaron por un filtro de 0.2 µm con ayuda de una jeringa comercial de 2 mL y posteriormente se inyectaron 40 µL al HPLC-UV-Vis mediante una fase móvil de acetonitrilo/agua (90:10, v/v) a un flujo de 1 mL min⁻¹ a 245 nm de longitud. Se utilizó una columna (pursuit 5) C-18 (150 x 4.6 mm), llevando a cabo el mismo procedimiento para construir una curva de calibración de 0, 4, 6, 8, 10 mg mL⁻¹, usando como estándar Spinosad.

Análisis estadístico

Todos los experimentos fueron realizados por triplicado, reportando las medias y su desviación estándar. Así mismo, se compararon las medias entre tratamientos mediante un análisis de varianza (ANOVA) a una vía y con prueba posterior de Tukey para ver diferencias significativas ($P < 0.05$) con el programa IBM SPSS statistics 20 (USA).

Resultados

Biomasa en lote

En la Figura 1, se muestra la cinética de crecimiento de biomasa y consumo de sustrato en el sistema en lote. El comportamiento de la curva no refleja fase de latencia y la fase exponencial se extiende hasta las 26 h con una producción de 0.7 g L⁻¹; posteriormente se visualiza la fase estacionaria que dura hasta las 36 h con un valor máximo de biomasa de 0.78 g L⁻¹. Este comportamiento tiene correlación con el consumo de sustrato, donde a las 36 h, el sustrato consumido fue del 79%.

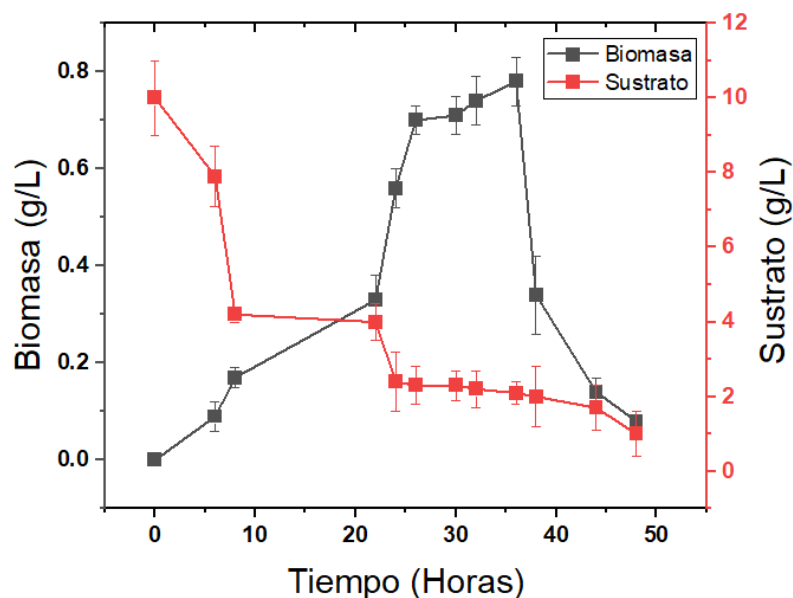


Figura 1. Producción de biomasa de *S. spinosa* y espinosinas en el sistema en lote

Nota: Se muestra el promedio $\pm$ la desviación estándar.

Biomasa en lote alimentado

En la Figura 2, se muestra que durante las primeras 22 h de cultivo hay un comportamiento similar al sistema en lote. En este punto, se determinó 82% de consumo de sustrato y se alcanzó un valor de biomasa de 0.9 g L^{-1} , dando inicio al sistema alimentado, lo que provocó un incremento de biomasa hasta 1.3 g L^{-1} a 30 h de cultivo; posteriormente vuelve a descender el sustrato y biomasa en el fermentador y para el segundo pulso de alimentación a las 46 h, se mantiene de manera estacionaria la producción de biomasa con valores de 0.97 a 1.08 g L^{-1} .

Biomasa en sistema continuo

Las primeras 22 a 28 h del cultivo se comportaron tal como en los sistemas anteriores. La biomasa obtenida a las 22 h fue de 0.89 g L^{-1} y el consumo de sustrato fue del 82.5%. A las 28 h la biomasa alcanzó un valor de 0.95 g L^{-1} y ahí se dio inicio al sistema continuo (Figura 3). En la Figura 3 se observa que los valores de biomasa decrementaron dentro del biorreactor, debido a que hubo alimentación de manera continua de nuevo sustrato, pero también salida de sustrato, biomasa y producto. El factor de dilución empleado permitió que no hubiera lavado de la biomasa, por lo tanto, los valores promedio durante 12 h de cultivo continuo fueron de $0.54 \text{ g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

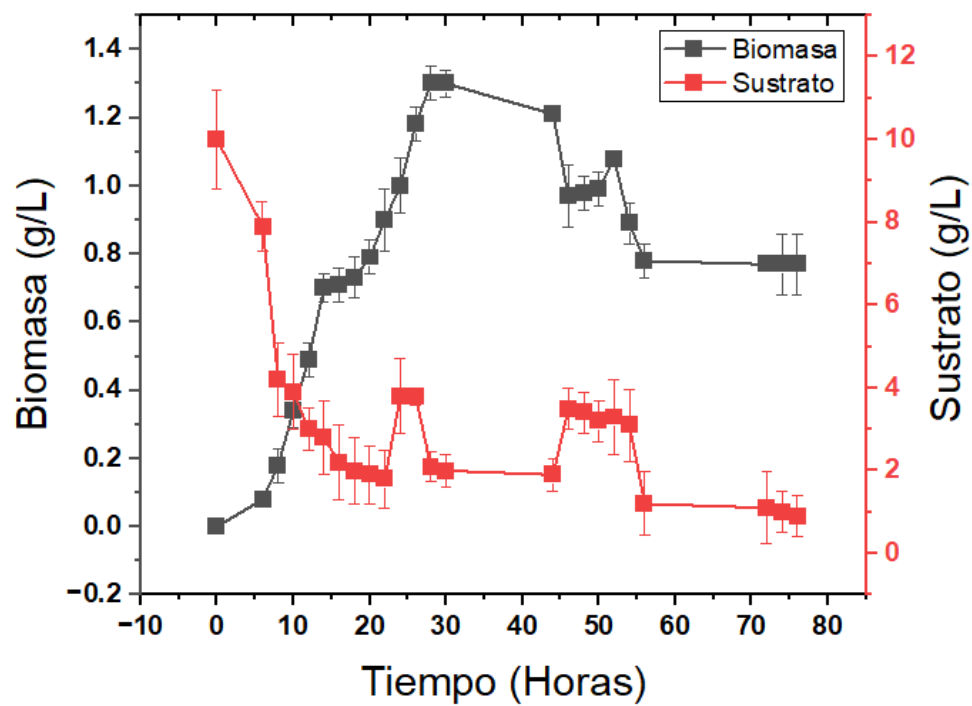


Figura 2. Producción de biomasa de *S. spinosa* y espinosinas en el sistema en lote alimentado
Nota: Se muestra el promedio $\pm$ la desviación estándar.

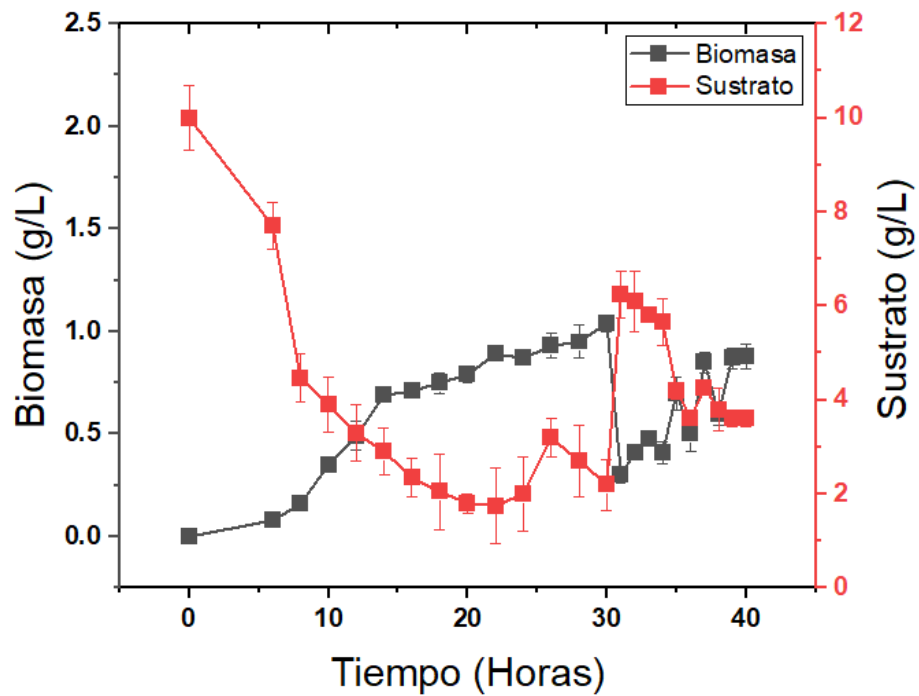


Figura 3. Producción de biomasa de *S. spinosa* y espinosinas en el sistema continuo
Nota: Se muestra el promedio $\pm$ la desviación estándar.

Producción de espinosinas

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la cuantificación de espinosinas en cada sistema de cultivo.

Tabla 1. *Producción de espinosinas*

Sistema	Tiempo del cultivo (h)	Biomasa (g/L)	Espinosinas
Lote	26	0.70a	240 mg L ⁻¹ a
	36	0.78a	289 mg L ⁻¹ b
Lote alimentado	22	0.90b	312 mg L ⁻¹ b
	52	1.08c	512 mg L ⁻¹ c
Continuo			
Inicio en lote	22	0.89b	292 mg L ⁻¹ b
Efluente	30 a 41	0.54*	26 mg L ⁻¹ h ⁻¹ *

Nota: *valor promedio en el efluente. Letras a-c indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos por columna.

En el sistema en lote se observó un aumento significativo ($P < 0.05$) del 20% en la producción de espinosinas entre el final de la fase exponencial y el final de la fase estacionaria. Para el sistema en lote alimentado, al final de la adición de los pulsos de alimentación, el incremento en la producción de espinosinas fue significativamente mayor (68%), y para el sistema continuo, se determinó una producción promedio de 26 mg L⁻¹h⁻¹ y la acumulación de espinosinas provenientes del efluente se asoció proporcionalmente a la producción de biomasa (Figura 4). Si tomamos en cuenta que la fase continua duró 12 horas, el total acumulado de espinosinas en el colector del efluente fue de 300 mg L⁻¹.

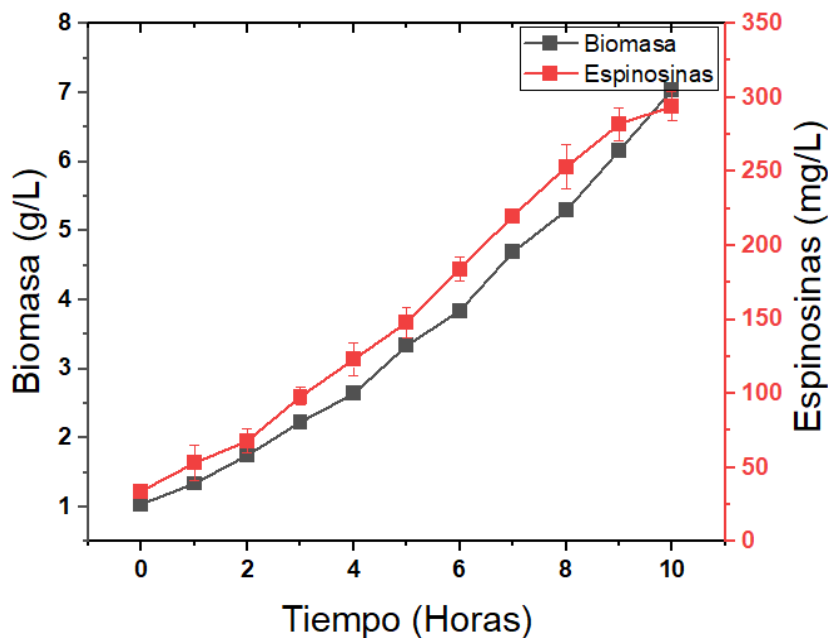


Figura 4. Acumulación de biomasa y espinosinas en el receptor del efluente del sistema continuo.

Nota: Se muestra el promedio $\pm$ la desviación estándar.

Discusión

Desde que Mertz y Yao (1990) describieron una nueva especie bacteriana encontrada en un alambique de ron de un ingenio azucarero y la denominaron *Saccharopolyspora spinosa*, y de que Kirst et al. (1992) dieron a conocer la estructura química de los macrólidos producidos por esta especie, diversos autores han buscado la forma de incrementar la producción de espinosinas a través del control físico de las fermentaciones, de la modificación de los medios de cultivo o bien mediante el uso de cepas modificadas genéticamente. Boeck et al. (1994) patentaron un medio para la producción masiva de *S. spinosa*, que contenía 4% de glucosa, 3% de proteína vegetal, 1% de harina de semilla de algodón, 0.3% de carbonato de calcio y 1% de aceite de soya; sin embargo, no dieron a conocer la cantidad de espinosinas producidas en sus lotes de fermentación. En el presente trabajo, utilizando un medio de cultivo simple con baja concentración de glucosa, se reportan valores de producción de espinosinas comparables a los reportados por otros autores (Tabla 2). En 1993, Strobel y Nakatsukasa cultivaron una cepa de *S. spinosa* en diferentes medios para optimizar la producción de espinosinas y encontraron que de 68 a 77 g L⁻¹ de glucosa se dan las mejores respuestas. De igual manera, Jin et al. (2006 a), determinaron que un aumento de

glucosa en el medio, de 18 a 58 g L⁻¹ y de fosfato, de 3.6 a 29 mmol L⁻¹ resulta en mayor producción de biomasa y espinosinas.

Tabla 2. Investigaciones sobre producción de espinosinas

Autores	Estrategia	Rendimiento de espinosinas
Casados <i>et al.</i> *Trabajo presente	Sistema en Lote	289 mg L ⁻¹
	Sistema en Lote alimentado	512 mg L ⁻¹
	Sistema continuo	26 mg L ⁻¹ h ⁻¹ *
Jin <i>et al.</i> (2006 a)	Control de glucosa y fosfato en el medio	507 mg L ⁻¹
Jin <i>et al.</i> (2006 b)	Mutación de <i>S. spinosa</i> con luz ultravioleta	458 mg L ⁻¹
Jin <i>et al.</i> (2009)	Barajado del genoma de <i>S. spinosa</i> (genome shuffling)	547 mg L ⁻¹
Tang <i>et al.</i> (2011)	Clonación un clúster de genes que convierten los policétidos a espinosinas vía Red/ET	388 mg L ⁻¹
Xue <i>et al.</i> (2013)	Sobreexpresión de genes <i>spnK</i>	405 mg L ⁻¹
Zhang <i>et al.</i> (2014)	Uso de diferentes potenciales de óxido-reducción extracelulares	308 mg L ⁻¹
Bai <i>et al.</i> (2015)	Estrategia de control de oxígeno disuelto en el biorreactor en sistema en lote	179 mg L ⁻¹
Lu <i>et al.</i> (2017)	Biorreactor modificado para mayor oxigenación y empleo de sistema en lote alimentado	583 mg L ⁻¹
Wan <i>et al.</i> (2022)	Adición de bifosfato de sodio y carbonato de calcio	520 mg L ⁻¹
Li <i>et al.</i> (2024)	Adición de triacilglicerol y sobre-expresión de genes que codifican a lipasa	234 mg L ⁻¹

Nota: Elaboración propia.

Algunos autores han correlacionado la cantidad de biomasa producida en la fermentación con respecto a la cantidad de espinosinas obtenidas. Por ejemplo, Jin *et al.* (2006 b) utilizaron 6% de glucosa en el cultivo de una cepa mutada de *S. spinosa*; obtuvieron 20 g L⁻¹ de biomasa y 458 mg L⁻¹ de espinosinas. Jin *et al.* (2009), para una cepa modificada genéticamente de *S. spinosa*, utilizaron un medio de producción que contenía 60 g L⁻¹ de glucosa en un fermentador de tanque agitado; reportaron cerca de 22 g L⁻¹ de biomasa y 458 mg L⁻¹ de espinosinas. De lo anterior, se evidencia que a mayor concentración de biomasa mayor concentración de espinosinas en el caldo de fermentación, resultados que se observaron también en los sistemas de cultivo evaluados aquí.

De acuerdo con Bai *et al.* (2015), existen muchos mecanismos regulatorios fisiológicos en *S. spinosa* que no permiten optimizar la producción de espinosinas, por lo que un trabajo desde el

punto de vista holístico no puede solventarse solo controlando un factor en el reactor. Dichos autores trabajaron en un biorreactor de 10 L con un volumen de trabajo de 7 L y fueron cambiando la saturación de oxígeno disuelto a lo largo de las corridas experimentales, que fueron más prolongadas que las empleadas en el presente trabajo, debido a que trabajaron con altas concentraciones de glucosa (60 g L^{-1}), obteniendo valores de biomasa cercanos a 22 g L^{-1} y de espinosinas de 179 mg L^{-1} . Aunque reportaron valores altos de biomasa, los valores de producción de espinosinas son menores a los del presente estudio.

La implementación del sistema continuo en el presente proyecto representa una propuesta novedosa con respecto al cultivo de *S. spinosa*, ya que no existen datos de comparación en literatura; sin embargo, es una estrategia que se ha estudiado e implementado en la industria para otras cepas microbianas. El sistema continuo arrojó resultados prometedores, ya que se obtuvo en el efluente una concentración promedio de $26 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Los gráficos presentados del sistema continuo (Figuras 3 y 4), tienen un comportamiento similar a los reportados en literatura, por ejemplo, los trabajos de Rahimi et al. (2019) en la producción de antígenos de Hepatitis B mediante una cepa recombinante de *Pichia pastoris* y de Wu, Hong y Shi (2021), para la producción de metil-seleno-cisteína, trabajos en donde las fluctuaciones en el comportamiento de la biomasa y el producto se mantienen en estado estacionario. Los resultados presentados evidencian que se puede seguir investigando en la mejora del proceso de producción de espinosinas de manera continua.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en el sistema en lote alimentado confirman los hallado en un trabajo previo de literatura y se demuestra que es un sistema con potencial para elevar la producción de espinosinas por *S. spinosa*. Con respecto al sistema continuo, se logró obtener una producción en el efluente de $26 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y de forma acumulada 300 mg L^{-1} en el recipiente colector a la salida del fermentador, una cantidad de espinosinas alentadora para seguir manipulando las variables de operación y obtener mayores rendimientos. Se pueden implementar estrategias ya publicadas sobre el manejo de la fuente de carbono, micronutrientes y saturación de oxígeno en el medio, combinado con la exploración del efecto de la tasa de dilución en el sistema continuo que

conlleven a elevar la productividad de espinosinas y que permitan a mediano plazo establecer una plataforma tecnológica de producción del bioplaguicida en nuestro país.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento al Tecnológico Nacional de México (TECNM) por el apoyo al Proyecto No. 520.18-PD y al CONACYT (ahora CONAHCYT) por otorgar la beca de Maestría No 933559 a la estudiante Juana Casados Molar.

Referencias

- An, Z., Tao, H., Wang, Y., Xia, B., Zou, Y., Fu, S., Fang, F., Sun, X., Huang, R., Xia, Y., Deng, Z., Liu, R. y Liu, T. (2021). Increasing the heterologous production of spinosad in *Streptomyces albus* J1074 by regulating biosynthesis of its polyketide skeleton. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 6, 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2021.09.008>
- Bai, Y., Zhou, P., Fan, P., Zhu, Y., Tong, Y., Wang, H. y Yu, L. (2015). Four-stage dissolved oxygen strategy based on multi-scale analysis for improving spinosad yield by *Saccharopolyspora spinosa* ATCC49460. *Microbial Biotechnology*, 8(3), 561–568. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12264>
- Bakoyianis, V., Kanellaki, M., Kaliafas, A. y Koutinas, A. (1992). Low temperature wine making by immobilized cells on mineral kissiris. *Agricultural and Food Chemistry*, 40(7), 1293–1296. <https://doi.org/10.1021/jf00019a042>
- Boeck, L., Chio, H., Eaton, T., Godfrey, O., Michel, K., Nakatsukasa, W. y Yao, R. (1994). *Process for producing A83543 compounds*. US Patent 5362634.
- Bridget, A., Nguyen, C., Magar, R. y Sohng JK. (2022). Increasing production of spinosad in *Saccharopolyspora spinosa* by metabolic engineering. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 70(3), 1035–1043. <https://doi:10.1002/bab.2418>
- Cao, L., Liu, Y., Sun, L., Zhu, Z., Yang, D., Xia, Z., Jin, D., Dai, Z., Rang, J. y Xia, L. (2024). Enhanced triacylglycerol metabolism contributes to the efficient biosynthesis of spinosad in *Saccharopolyspora spinosa*. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 9, 809–819. <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2024.06.007>

- Huang, K., Xia, L., Zhang, Y., Ding, X., y Zahn, J. (2009). Recent advances in the biochemistry of spinosyns. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 7, 13–23. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1784-8>
- Jha, A., Pokhrel, A., Chaudhary, A., Park, S., Cho, W., y Sohng, J. (2014). Metabolic engineering of rational screened *Saccharopolyspora spinosa* for the enhancement of spinosyns A and D production. *Molecules and Cells*, 37(10), 727–733.
- Jin, Z. (2006 a). Effects of glucose and phosphate on spinosad fermentation by *Saccharopolyspora spinosa*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 14(4), 542-546. <https://cjche.cip.com.cn/EN/Y2006/V14/I4/542>
- Jin, Z., Wu, J., Zhang Y., Cheng, X., Yang, L. y Cen, P. (2006 b). Improvement of spinosad producing *Saccharopolyspora spinosa* by rational screening. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 7(2), 366-370. <https://doi.org/10.1631/jzus.2006.AS0366>
- Jin, Z., Xu, B., Lin, S., Jin, Q. y Cen, P. (2009). Enhanced Production of spinosad in *Saccharopolyspora spinosa* by genome shuffling. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 159, 655–663. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8500-0>
- Kirst, H., Michel, K., Mynderase, J., Chio, E., Yao, R., Nakasukasa, W., Boeck, L., Occiowitz, J., Paschal, J., Deeter, J. y Thompson, G. (1992). Discovery, isolation, and structure elucidation of a family of structurally unique, fermentation-derived tetracyclic macrolides. *Synthesis and Chemistry of Agrochemicals III*, 504, 214-225. <https://doi.org/10.1021/bk-1992-0504.ch020>
- Liang, Y., Lu, W. y Wen, J. (2009). Improvement of *Saccharopolyspora spinosa* and the kinetic analysis for spinosad production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 152, 440–448. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8281-5>
- Li, H., Pan, Y. y Liu, G. (2021). Multiplying the heterologous production of spinosad through tandem amplification of its biosynthetic gene cluster in *Streptomyces coelicolor*. *Microbial Biotechnology*, 15(5), 1550–60. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13965>
- Li, T., Chen, X., Chen, J., Wu, Q. y Chen, G. (2014). Open and continuous fermentation: products, conditions and bioprocess economy. *Biotechnology Journal*, 9, 1503–1511. <https://doi.org/10.1002/biot.201400084>

- Liu, Z., Xiao, J., Tang, J., Liu, Y., Shuai, L., Cao, L., Xia, Z., Ding, X., Rang, J. y Xia, L. (2021). Effects of *acuC* on the growth development and spinosad biosynthesis of *Saccharopolyspora spinosa*. *Microbial Cell Factories*, 20, 141. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01630-2>
- Lu, C., Yin, J., Zhang, C. y Lu, W. (2017). Fed-batch fermentation for spinosad production in an improved reactor. *Transactions of Tianjin University*, 23, 530-537. <https://doi.org/10.1007/s12209-017-0062-1>
- Martinez-Chavez, D., Mabarak-Hernandez, H., Cruz-Hernandez, A., Perez-Vargas, M. y Chaires-Martinez, L. (2018). Producción de altas densidades celulares de *Saccharopolyspora spinosa* en tanque agitado. *Journal CIM*, 6(1), 1413-1419.
- Mertz, F., y Yao, C. (1990). *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 40(1), 34–39. <https://doi.org/10.1099/00207713-40-1-34>
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Nedovic, V., Durieuxb, A., Nedervelde, L., Rosseels, P., Vandegans, J., Plaisant, A. y Simon, J. (2000). Continuous cider fermentation with co immobilized yeast and *Leuconostoc oenos* cells. *Enzyme and Microbial Technology*, 26(9-10), 834-839. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(00\)00179-4](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(00)00179-4)
- Ochoa, S. (2019). *Fed-batch fermentation–design strategies*. Comprehensive Biotechnology, 3rd edition, Volume 2. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00093-8>
- Rahimi, A., Hosseini, S., Javidanbardan, A. y Khatami M, (2013). Continuous fermentation of recombinant *Pichia pastoris* Mut+ producing HBsAg: Optimizing dilution rate and determining strain-specific parameters, *Food and Bioproducts Processing*, 118, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.011>
- Strobel, R. y Nakatsukasa, W. (1993). Response surface methods for optimizing *Saccharopolyspora spinosa*, a novel macrolide producer *Journal of Industrial Microbiology*, 11, 121-127. <https://doi.org/10.1007/BF01583684>
- Tan, G., Deng, K., Liu, X., Tao, H., Chang, Y., Chen, J., Chen, K., Sheng, Z., Deng, Z. y Liu, T. (2017). Heterologous biosynthesis of spinosad: an omics-guided large polyketide synthase gene

- cluster reconstitution in *Streptomyces*. *ACS Synthetic Biology*, 6(6), 995–1005. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.6b00330>
- Tang, Y., Xia, L., Ding, X., Luo, Y., Huang, F. y Jiang, W. (2011). Duplication of partial spinosyn biosynthetic gene cluster in *Saccharopolyspora spinosa* enhances spinosyn production. *FEMS Microbiology Letters*, 325, 22–29. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02405.x>
- Verduyn, C., Postma, E., Scheffers, W. y Van-Dijken, J. (1992). Effect of benzoic acid on metabolic fluxes in yeasts: A continuous-culture study on the regulation of respiration and alcoholic fermentation. *Yeast*, 8(7), 501–517. <https://doi.org/10.1002/yea.320080703>
- Waldron, C., Matsushima, P., Rosteck Jr, P., Broughton, M., Turner, J., Madduri, K., Crawford, K., Merlo, D. y Baltz, R. (2001). Cloning and analysis of the spinosad biosynthetic gene cluster of *Saccharopolyspora spinosa*. *Chemistry and Biology*, 8(5), 487–99. [https://doi.org/10.1016/s1074-5521\(01\)00029-1](https://doi.org/10.1016/s1074-5521(01)00029-1)
- Wan, M., Peng, C., Ding, Meng-Ran, W., Hu, J. y Li, J. (2022). Calcium-phosphate combination enhances spinosad production in *Saccharopolyspora spinosa* via regulation of fatty acid metabolism. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194, 2528–2541. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03799-7>
- Wu, J., Hong, L. y Shi, M. (2021). Production of Methylselenocysteine in *Saccharomyces cerevisiae* LG6 by continuous fermentation. *Bioresource Technology Reports*, 13, 100627. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100627>
- Xue, C., Duan, Y., Zhao, G., y Lu, W. (2013). Stepwise increase of spinosad production in *Saccharopolyspora spinosa* by metabolic engineering. *Biochemical Engineering Journal*, 72, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.01.007>
- Zhang, X., Xue, C., Zhao, F., Li, D., Yin, J., Zhang, C., ... Lu, W. (2014). Suitable extracellular oxidoreduction potential inhibit rex regulation and effect central carbon and energy metabolism in *Saccharopolyspora spinosa*. *Microbial Cell Factories*, 13(98), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0098-z>

Acercando al Tecnología a la Sustentabilidad,
coordinado por Hugo Amores Pérez, María Salomé Alejandre
Apolinar, Irma Angélica García González, Yadeneyro de la Cruz
Elizondo & Nancy Domínguez González, y editado por la Red
Mexicana de Formadores Ambientales para el Desarrollo Sostenible
A. C., fue publicado por el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa,
en Xalapa (Veracruz) en marzo de 2025.

El libro “Acercando la Tecnología a la Sustentabilidad” compila investigaciones enfocadas al desarrollo rural, la innovación tecnológica y el uso responsable de los recursos naturales. Se abordan temas como el uso de macrotúneles para fomentar el emprendimiento agrícola, la economía social como alternativa de desarrollo regional y estrategias sostenibles para el bienestar de comunidades en situación de pobreza. Se destacan proyectos sobre diagnóstico socioambiental, alimentación ganadera, incubación artificial en granjas, fermentaciones anaerobias y propagación de micorrizas. Asimismo, se exploran tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas aplicado a la agricultura 4.0 y el uso de biorreactores para producir compuestos agrícolas. Incluyendo enfoques educativos, con propuestas para integrar la sustentabilidad en carreras tecnológicas y mediante el uso de tecnologías del aprendizaje. Otros estudios analizan la estandarización del cultivo de forraje hidropónico, la germinación de cempasúchil y la climatización in vitro de papa. La obra destaca el papel clave de la transferencia tecnológica en el impulso del desarrollo sustentable.

