



Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 10 Núm. 1 Enero – Junio, 2023 ISSN: 2007-9559

Revista Mexicana de Agroecosistemas
Oaxaca, Volumen X, Número I, 2023

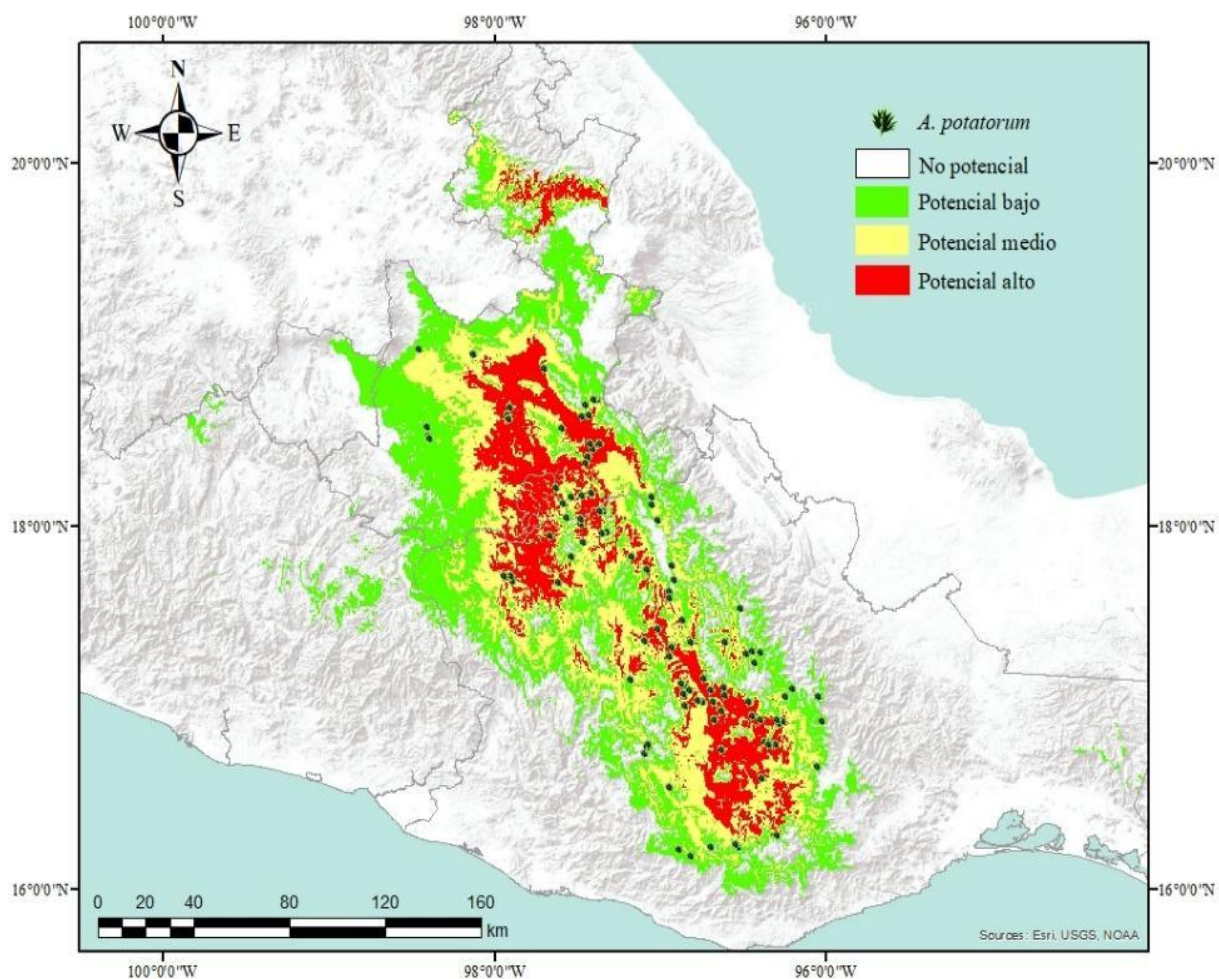


Foto: distribución de *Agave potatorum* Zucc.

Revista Mexicana de Agroecosistemas



REVISTA MEXICANA DE AGROECOSISTEMAS, Vol X(1), 2023 es un órgano de difusión científica que se publica semestralmente desde 2014 por el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca; publica resultados de investigaciones científicas originales e inéditas, con enfoque hacia la productividad agrícola, pecuaria, forestal, servicios ecosistémicos y de aprovechamiento y conservación de recursos naturales; también del área social ligada a ese enfoque. La revista está incluida en el listado del *Open Journal System (OJS)*, que incluye *DOI* por artículo y en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (*latindex*).

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-060211581800-203 e ISSN 2007-9559, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número en la División de Estudios de Posgrado e Investigación: Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz, Domicilio conocido, Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México, C.P. 71233, Tel y Fax. 01 (951) 5170444 y 5170788, <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>, rmae@voaxaca.tecnm.mx, rmae.itvo@gmail.com. Fecha de última modificación, 30 de junio de 2023.

Para su publicación, los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución; las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, sin previa autorización del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.



Comité Editorial (DEPI-ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez
Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo
Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz
Dr. José Cruz Carrillo Rodríguez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Vicente A. Velasco Velasco
Dr. Yuri Villegas Aparicio
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dra. Gisela V. Campos Ángeles
Dra. Martha P. Jerez Salas
Dr. Salvador Lozano Trejo
Dr. Gustavo O. Díaz Zorrilla
Dra. María Isabel Pérez León
M.C. Judith Ruiz Luna

Coordinación editorial

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz
Dra. Gisela M. Santiago Martínez
Dr. José Raymundo Enríquez del Valle
Dr. Yuri Villegas Aparicio

Diseño de portada

Dra. Adela Vásquez García / Dr. Gerardo Rodríguez-Ortiz



Política de revisión de manuscritos

Todos los manuscritos se reciben en español e inglés y se someten mediante la plataforma *OJS* de la revista (<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>) con **carta de originalidad** firmada por el autor de correspondencia. Deben ser originales e inéditos, de alta calidad, acordes con las normas editoriales de RMAE y que no se hayan publicado o se vayan a publicar en otra revista.

Las contribuciones pasan a revisión del editor y estilo para el cumplimiento de las normas editoriales; se verifica nivel de plagio mediante Turnitin®, el cual no debe ser mayor a 20% de coincidencias.

Todas las contribuciones se envían a arbitraje de “pares ciegos” de al menos dos especialistas del área de reconocido prestigio académico y de instituciones diferentes a la de los autores. Los árbitros revisan el documento en formato Word y hacen llenado del “formato de evaluación” (formato pdf), los cuales remiten al Comité Editorial. Cuando el manuscrito es aprobado por los árbitros y editor de RMAE, se envían al autor de correspondencia archivos Word revisados y formatos de evaluación, para que los autores realicen las correcciones pertinentes. El documento corregido por autores se remite al Comité Editorial, el cual extiende “carta de aceptación del manuscrito”.

Previo a la publicación, la RMAE envía al autor de correspondencia y en formato pdf, la “prueba de galeras” y la “carta cesión de derechos”, que debe ser revisada por si existen cambios menores.

ATENTAMENTE

Comité editorial



	Contenido	Pág.
	Artículos de investigación	
1	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y SU RESPUESTA EN CARACTERES DE PLANTA Y FRUTO DE TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO / ORGANIC FERTILIZATION AND ITS RESPONSE IN PLANT AND FRUIT CHARACTERS OF TOMATO IN SOILLESS CULTURE ¹Rogelio Reyes-Hernández^{id}, ¹José Cruz Carrillo-Rodríguez^{id}, ²José Luis Chávez-Servia^{id}, ³Catarino Perales-Segovia^{id}, ²Araceli Minerva Vera-Guzmán^{id}, ⁴Sanjuana Hernández Delgado^{id}, ⁵Netzahualcóyotl Mayek Pérez^{id}, ⁶Elia Nora Aquino-Bolaños^{id}, ⁶Jimena E Alba-Jiménez^{id}	I – 13
2	ESCENARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE <i>Agave potatorum</i> Zucc. ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO / <i>Agave potatorum</i> Zucc. DISTRIBUTION SCENARIOS IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE ¹Pedro Antonio García-Morales^{id}, ¹Vicente Arturo Velasco-Velasco^{id}, ¹José Raymundo Enríquez-del Valle^{id}, ¹Judith Ruiz- Luna^{id}, ²Abisaí Josué García-Mendoza^{id}	14 – 23
3	CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ACEITES EN ÁRBOLES SILVESTRES Y PLANTAS JÓVENES DE <i>Bursera glabrifolia</i> (Kunth)-Engel / CHARACTERIZATION AND QUANTIFICATION OF OILS IN WILD TREES AND YOUNG PLANTS OF <i>Bursera glabrifolia</i> (Kunth)-Engel ¹José Raymundo Enríquez del Valle^{1id}, ¹Gerardo Rodríguez-Ortiz^{id}, ¹Bartolomé Jarquín Ríos^{id}, ¹Gisela Virginia Campos Ángeles^{id}	24 – 34
4	EMPRENDIMIENTO SOCIAL Y BIENESTAR NUTRICIONAL, PRODUCTORES DE AMARANTO EN VALLES CENTRALES Y SIERRA SUR, OAXACA / SOCIAL ENTREPRENEURSHIP AND NUTRITIONAL WELL-BEING, AMARANTH PRODUCERS IN THE CENTRAL VALLEYS AND SIERRA SUR, OAXACA ¹Beatriz Rebeca Hernández Hernández^{id}, ¹Gisela Margarita Santiago Martínez^{id}, ¹Ernesto Castañeda Hidalgo^{id}, ¹Salvador Lozano Trejo^{id}, ²Andrés E. Miguel Velasco^{id}, ³Juan Regino Maldonado^{id}	35 - 48



Artículo de revisión

INDICADORES DE CALIDAD COMO HERRAMIENTAS ÚTILES
PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO /
QUALITY INDICATORS AS USEFUL TOOLS FOR ASSESSING SOIL
FERTILITY STATUS

5

¹Eric Guillermo Echeverría-Pérez^{id}, ²Ernesto Castañeda-Hidalgo^{id}, ³Celerino Robles^{id}, ³Verónica Martínez-Gallegos^{id}, ²Gisela M. Santiago-Martínez^{id},
²Gerardo Rodríguez-Ortiz^{id}

49 - 57



Revista Mexicana de Agroecosistemas
Vol. 10 Núm. 1 Enero – Junio, 2023 ISSN: 2007-9559

DIRECTORIO

Maestro Ramón Jiménez López- Director General, Tecnológico Nacional de México (TecNM)

Dr. Jesús Olayo Lortía- Responsable del Despacho de los Asuntos, Competencia de la Dirección de Posgrado, Investigación e Innovación (TecNM)

Dra. Marisa Guadalupe Flores Aguilar- Director (ITVO)

Dr. Aarón Martínez Gutiérrez - Subdirección Académica (ITVO)

Dr. Gustavo Omar Díaz Zorrilla-Jefe de la DEPI-ITVO

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz (gerardo.ro@voaxaca.tecnm.mx) - Editor en jefe Revista Institucional DEPI-ITVO

Dra. Gisela Margarita Santiago Martínez (gisela.ms@voaxaca.tecnm.mx) - Editor Asociado Revista Institucional DEPI-ITVO

Dr. José Raymundo Enríquez del Valle (jose.ev@voaxaca.tecnm.mx) - Editor Asociado Revista Institucional DEPI-ITVO

Dr. Yuri Villegas Aparicio (yuri.va@voaxaca.tecnm.mx) - Editor Asociado Revista Institucional DEPI-ITVO

Dra. Adela Vásquez García (adela.vg@voaxaca.tecnm.mx)/Dra. Alida Corey Arango Cruz (alida.ac@voaxaca.tecnm.mx) coordinación de soporte Revista Institucional DEPI-ITVO

Mayores informes:

Revista Mexicana de Agroecosistemas

Domicilio conocido

Ex-hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México

C. P. 71233

Tel. y Fax: 01(951) 5170444, 5170788

Correo: rmae@voaxaca.tecnm.mx, rmae.itvo@gmail.com

<https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/index>



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca





FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y SU RESPUESTA EN CARACTERES DE PLANTA Y FRUTO DE TOMATE EN CULTIVO SIN SUELO

ORGANIC FERTILIZATION AND ITS RESPONSE IN PLANT AND FRUIT CHARACTERS OF TOMATO IN SOILLESS CULTURE

¹Rogelio Reyes-Hernández , ^{1§}José Cruz Carrillo-Rodríguez , ²José Luis Chávez-Servia , ³Catarino Perales-Segovia , ²Araceli Minerva Vera-Guzmán , ⁴Sanjuana Hernández Delgado , ⁵Netzahualcóyotl Mayek Pérez , ⁶Elia Nora Aquino-Bolaños , ⁶Jimena E Alba-Jiménez 

¹Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. ²Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Instituto Politécnico Nacional Unidad Oaxaca, Hornos # 1003. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. ³Instituto Tecnológico del Llano Aguascalientes. ⁴Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico. ⁵Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Rodhe, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Reynosa. ⁶Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos de la Universidad Veracruzana. [§]Autor de correspondencia: (jcarrillo_rodriguez@hotmail.com)

RESUMEN

La fertilización orgánica balanceada con diferentes fuentes, puede tener un efecto significativo en la producción y calidad de hortalizas. El objetivo fue evaluar fuentes de fertilización orgánica con diferentes abonos orgánicos, dosis, combinaciones, más aplicaciones diarias de un té fermentado en la producción de tomate, bajo un manejo agroecológico en cultivo sin suelo. El experimento se estableció bajo un diseño en bloques completos al azar con doce tratamientos y tres repeticiones, incluyendo un testigo químico hidropónico con sustrato de Arena, en condiciones de invernadero en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. Los tratamientos orgánicos presentaron una correlación significativa con el tratamiento hidropónico compuesto por la solución Steiner (T₂), excepto con el sistema orgánico T₅. Esto implica que no hay una diferencia significativa de respuesta en crecimiento, desarrollo de la planta y fruto de tomate, usando los abonos de lombricomposta (1.5 kg) más té fermentado. Los resultados muestran que los fertilizantes orgánicos y dosis de mayor respuesta fueron: la combinación de lombricompost (0.75 kg) + estiércol bovino (0.75 kg) + gallinaza (0.75 kg) + compost (0.75 kg); el compost (3 y 1.5 kg); lombricompost (1.5 kg) y la combinación compost (1.5 kg) más

lombricompost (1.5 kg), aplicándoles té fermentado.

Palabras clave: Abonos orgánicos, combinaciones, niveles y té fermentado.

ABSTRACT

Balanced organic fertilization obtained from different sources can have a significant effect on the production and quality of vegetables. In this context, the objective was to evaluate sources of organic fertilization based on different organic fertilizers, doses, combinations, plus daily applications of a fermented tea in tomato production, under agroecological management in soilless culture. The experiment was established under a randomized complete block design with twelve treatments and three repetitions, including a hydroponic chemical control with a sand substrate, under greenhouse conditions at the Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Nazareno Xoxocotlán, Oaxaca. The organic treatments presented a significant correlation with the hydroponic treatment composed of the Steiner solution (T₂), except with the organic system T₅. This implies that there is substantially no significant difference in the response in growth, development of the tomato plant and fruit, using vermicompost fertilizers (1.5 kg) plus fermented

Recibido: 24-mayo-2023

Aceptado: 30-junio-2023

tea. The results show that the organic fertilizers and doses with the highest response were: the combination of vermicompost (0.75 kg) + bovine manure (0.75 kg) + chicken manure (0.75 kg) + compost (0.75 kg); the compost (3 and 1.5 kg); vermicompost (1.5 kg) and the combination compost (1.5 kg) plus vermicompost (1.5 kg), applying fermented tea.

Index words: organic fertilizers, combinations, levels and fermented tea.

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica puede proporcionar alimentos de calidad sin afectar negativamente la salud del suelo y el medio ambiente, orientada hacia una agricultura alternativa (Yadav et al., 2015). La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM) en 2017, reporta a escala mundial que la producción orgánica está presente en 179 países, la importancia se observa en la superficie total que alcanza de 50,9 millones de hectáreas en cultivos agrícolas. En este sentido, la concepción amplia de agricultura orgánica o agricultura ecológica, se considera como un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, ecosistemas y usa métodos que preservan el medio ambiente, promueve relaciones justas y una buena calidad de vida. Se fundamenta en procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos naturales adaptados a las condiciones locales, restringiendo el uso de insumos que ocasionen efectos adversos (USDA, 2014; IFOAM, 2014). Además, recomiendan otras actividades como la rotación de cultivos, siembra de policultivos, labranza de conservación y manejo agroecológico de plagas y enfermedades, uso de abonos producto del reciclamiento de residuos orgánicos y la incorporación de abonos orgánicos (Gómez et al., 2010).

Cabe señalar que, en la producción de cultivos y hortalizas, los abonos orgánicos mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Muhammad et al., 2020; Cesarano et al.,

2017; Morales y Casanova, 2015; Muñoz et al., 2013). También, los abonos orgánicos mejoran la dinámica microbiana del suelo, particularmente a las densidades de bacterias solubilizadoras de fosfatos y los hongos micorrízicos arbusculares, facilitándose el desarrollo radicular de los cultivos, haciendo más eficientes el uso del agua (Carballo-Méndez et al., 2018; Saldaña et al., 2014). Actualmente, se ha demostrado que la inoculación con bacterias BPCV (bacterias promotoras del crecimiento vegetal) al sustrato, fertilizados con té de vermicomposta presenta aumentos significativos en el rendimiento y la calidad del fruto, además, influye en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas e incrementa la actividad enzimática en el sustrato de crecimiento (Ruiz y Salas, 2022). También, en suelo han presentado efectos de mitigación de la lixiviación de NO_3 en tierras cultivables (Demiraj et al., 2018).

En este contexto, los fertilizantes orgánicos, son una opción viable para ser utilizados como fuentes de nutrimentos en la producción de tomate (Preciado et al., 2011). Considerando que el cultivo de tomate es una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial, nacional y local, con una superficie que oscila en las 48,179 hectáreas (SIAP, 2021). Esto representa una alta demanda de fertilizantes químicos al igual que el incremento de los precios en el mercado, en este caso, ha ocasionado una mayor preocupación de los productores e incidir en una agricultura sustentable.

La calidad de la composta o vermicomposta, y del té obtenidos del compost o líquidos fermentados, pueden ser afectados por la estabilidad del compost, calidad del agua y el tiempo de preparación (Luna et al., 2015; El-Haddad et al., 2014). Un compost de calidad promedio considera su contenido de nutrientes o riqueza en porcentaje de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, el contenido de la materia orgánica y algunos contaminantes (Muñoz et al., 2013).

Existen algunos estudios relacionados a la evaluación de abonos orgánicos buscando alternativas de producción en hortalizas y específicamente en la producción de tomate en condiciones de invernadero, destacándose el uso de fertilizantes orgánicos (Luna et al., 2015; Ramos et al., 2009), vermicomposta y combinaciones (Hernández-Rodríguez et al., 2017; Villegas y Laines et al., 2017), efecto del compost, te de compost y soluciones nutritivas orgánicas (Vázquez et al., 2015; Preciado et al., 2011). Además, otras investigaciones reportan que la aplicación de abonos orgánicos tiene gran potencial para el control de plagas y enfermedades del suelo en cultivos (Domínguez et al., 2010). Debido a que se mejora el sistema de defensa de las plantas contra insectos y ataques de enfermedades (Mondal et al., 2017).

Al respecto, es necesario continuar en la búsqueda de mejoras en los sistemas alternativos agroecológicos sustentables de tomates nativos de Oaxaca. En este caso, el objetivo fue evaluar el efecto de fertilización orgánica (abonos orgánicos, dosis, combinaciones y aplicaciones de extractos de nutrientes o “té fermentado”), sobre algunos caracteres de planta y fruto de tomate, en condiciones de manejo orgánico y cultivo sin suelo en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un invernadero localizado en el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Exhacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca (17°01'10.42"N, 96°45'52.32"O, altitud 1561 m y temperatura promedio del invernadero 28.1°C). Se utilizaron semillas del híbrido simple no convencional H-4I (LA-110*LA-106) obtenido de una línea experimental tipo saladette con una población de tomate nativo, con forma de fruto tipo bola cuadrado.

Manejo orgánico y cultivo sin suelo en invernadero

En el invernadero se establecieron 12 tratamientos, de los cuales 11 fueron con fertilización orgánica de cultivo sin suelo, un testigo químico hidropónico (**Tabla 1**), cada uno de los tratamientos, estuvo formado por 30 bolsas de plástico negro (45x45cm), estas se colocaron a una distancia de 40 cm entre plantas, el arreglo de plantación fue a doble hilera dando un total de 3 plantas por m². El sistema de cultivo sin suelo con manejo orgánico, contempló en cada bolsa 7 kg de fertilización orgánica o abonos orgánicos: compost, lombricompost, gallinaza, estiércol bovino, aserrín y combinaciones de estas, con diferentes cantidades o dosis (0.75, 1.5 y 3 kg). Cabe aclarar que se agregó a cada bolsa 4 kg de aserrín fresco para completar los 7 kg del sustrato por bolsa, homogenizándose el peso del sustrato/bolsa. También en éstos 11 tratamientos se contempló la aplicación de un litro diario del extracto de nutrientes por bolsa, obtenida de la fermentación de una mezcla de los mismos abonos orgánicos aplicados como “té fermentado” o solución nutritiva orgánica (**Figura 1**).

De la misma manera, para el testigo químico hidropónico (solución nutritiva Steiner) se utilizaron 7 kg de arena como sustrato (T₂).

El trasplante del cultivo de tomate se hizo con una planta por bolsa (previa inmersión en agua con micorrizas, 100 g de micorrizas en 20 L de agua) en 10 bolsas por tratamiento resultando 30 bolsas de las tres repeticiones. Utilizándose el sistema de riego por goteo tipo espagueti dirigido a cada bolsa. Una vez que inició el crecimiento de plántulas de tomate, se hizo el tutorado vertical con hilo de rafia negro amarrado a los tutores del invernadero. La poda consistió en la eliminación semanal de guías y brotes axilares de la planta. En el mismo sentido se promovió la polinización de flores con movimiento de tutores de forma manual y se aplicaron extractos vegetales para el manejo de plagas y enfermedades.

Tabla 1. Tratamientos a base de fertilización orgánica, combinaciones, dosis y el “té fermentado” aplicado al cultivo de tomate.

Tratamiento	Fertilizantes orgánicos, combinaciones y dosis y testigo
T ₁	Suelo + “té fermentado” (7 kg de suelo)
T ₂	Testigo químico hidropónico (7 kg arena + solución Steiner)
T ₃	Lombricompost (0.75) + E. bovino (0.75) + Gallinaza (0.75) + Compost (0.75kg) + Aserrín (4 kg)
T ₄	Lombricompost (3 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₅	Lombricompost (1.5 kg) + Gallinaza (1.5 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₆	Lombricompost (1.5 kg) + Estiércol bovino (1.5 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₇	Compost (3 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₈	Compost (1.5 kg) + Gallinaza (1.5 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₉	Compost (1.5 kg) + Estiércol bovino (1.5 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₁₀	Compost (1.5 kg) + Lombricompost (1.5 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₁₁	Compost (1.5 kg) + Lombricompost (0.75 kg) + Gallinaza (0.75 kg) + Aserrín (4 kg)
T ₁₂	Compost (1.5 kg) + Lombricompost (0.75 kg) + E. bovino (0.75 kg) + Aserrín (4 kg)

T=Tratamiento

Análisis químico de agua, abonos y té fermentado

Con el propósito de conocer los aportes nutrimentales de la materia prima y los abonos para hacer las mezclas y formular las dosis utilizadas en el estudio, se realizó un análisis químico de suelo, agua, abonos, extractos de nutrientes o “té fermentado”, bajo la NOM-021-RECNAT-2000 en el laboratorio de diagnóstico ambiental del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (Tabla 2 y 3). Toda la materia prima fue obtenida en el ITVO.

Té fermentado o solución nutritiva orgánica

Para la preparación del té fermentado, se consideró parte de la metodología de la FAO (2014) y El-Haddad et al. (2014). En este estudio se utilizó una base de 400 g de gallinaza y 400 g lombricompost en 19.5 litros de agua. Con el

propósito de incrementar 9 veces la preparación del fermentado, se pesaron 3.6 kg de gallinaza y 3.6 kg de lombricompost y se hizo un paquete con ambos sustratos mediante una bolsa de malla antiafida, se introdujo en tambos de 200 litros de agua (quedando en forma de té fermentado) y se dejó reposar durante 24 horas, con la finalidad de que los nutrientes fueran extraídos (Figura 1). Transcurrido ese tiempo se hicieron mediciones de pH y CE (dSm^{-1}) con el equipo de HANNA (combo modelo HI98130). La solución nutritiva orgánica obtenida, se ajustó a una conductividad eléctrica de 2 a 3 (dSm^{-1}) y se aplicó un litro diario a cada tratamiento. El pH se ajustó con ácido acético obtenido del fermentado de cáscara de piña, en cambio para el T₁ se utilizó ácido sulfúrico al 99% a un pH de 5.6 a 6.

Tabla 2. Análisis químico del té fermentado, solución química Steiner y características del agua de riego utilizadas en el experimento.

Parámetros/ Líquidos	pH	CE (dSm^{-1})	HCO ₃	Na ⁺	NO ₃	PO ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄
Té fermentado	6.5	2.6	0.0	0.0	3.6	9.8	8.2	4.4	3.5	5.3
Solución Steiner	5.6	2.5	2	0.0	12	2	7	9	4	4
Agua	7.1	0.8	6.2	1.5	0.0	0.0	0.04	2.2	1.5	2.2



Figura 1. Preparación del té fermentado, complemento de la solución nutritiva orgánica.

Procedimiento para realizar los abonos orgánicos o compost

Con base en la metodología para la elaboración de abonos orgánicos fermentados de la FAO (2014) y Román et al., (2013), que considera la temperatura, pH y humedad para obtener el compost tipo bocashi, éste, se modificó utilizándose materiales de la región de los Valles Centrales de Oaxaca, estos fueron: 100 kg de estiércol de bovino, 60 kg pastos con malezas (zacate picado), 50 kg de gallinaza, 5 kg piloncillo, 900 g de levadura, 25 kg de aserrín, 4 kg hojas de higuera, 4 kg hojas de neem, 4 kg de chicalote, 25 kg de suelo, 5 kg de cal y 100 litro de agua. En dos botes de 20 litros se agregaron 15 litros de agua, 2.5 kg de piloncillo, se disuelve completamente el piloncillo y entonces se le agregaron 450 g de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), se hizo la mezcla y se dejó reposar

durante 24 horas para promover la multiplicación y actividad metabólica de los microorganismos. Una vez que se termina de agregar los componentes del compost, se humedeció cada semana o cada que fue necesario e hizo una remoción frecuente de la mezcla y con ello se evitó que el compost alcanzará temperaturas superiores 60°C. Esto, también se logró evitando el amontonamiento del compost a niveles superiores a 50 cm de altura. El proceso de compost tardó entre 5 y 6 semanas.

Entre los principales resultados del análisis químico de los abonos orgánicos utilizados para el desarrollo y crecimiento del cultivo de tomate en el invernadero (Tabla 3), se destacan los altos contenidos de la aportación equivalente a la solución química de Steiner.

Tabla 3. Análisis químico del suelo, fuentes orgánicas y diferente compost.

Parámetro	Suelo	Lombri	E. bovino	Gallinaza	Compost	Aserrín
pH	7.6	7.9	8.0	7.5	8.6	4.6
CE dSm ⁻¹	1.3	3.7	4.3	5.6	6.1	0.27
MO (%)	0.73	28.3	31.2	60	27.1	85.4
C (%)	0.42	16.4	18.1	34.8	15.7	49.5
N total (%)	0.03	1.4	1.5	5.7	0.6	0.11
C/N	0.0	11.7	12.1	6.1	26.1	0.0
P (ppm)	44.3	208	290	716	233	0.1
*SO ₄ ⁼	7.1	16.5	36.1	49.2	2.55	0.11
*K	0.43	18.9	36.3	42.4	27.9	0.06
*Ca ²⁺	8.5	44.6	30.4	5.5	1.7	0.03
*Mg ²⁺	3.3	21.9	29.5	14.3	12.1	0.031
*Na	0.76	3.5	7.2	13.2	5.0	0.002

*(meqL⁻¹ en 100g suelo); Lombri = Lombricompost; E. = Estiércol bovino.

Las plantas de jitomate en los diferentes tratamientos se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar, obteniéndose doce tratamientos, tres repeticiones y cada unidad experimental se integró con diez bolsas, dando un total de 30 bolsas por tratamiento. Se registró el crecimiento de las plantas mediante mediciones alturas y diámetro de tallo 30, 60 y 90 días después del trasplante. En términos de productividad se evaluaron diversas variables fisiológicas y morfológicas de acuerdo con Ríos-Osorio et al. (2014).

Con los datos obtenidos de las variables evaluadas, se les aplicó un análisis de varianza ($p = 0.01$), una comparación de medias por Tukey

($p=0.05$), una Prueba de Correlación de Pearson y un análisis canónico con el paquete estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el análisis de varianza (Tabla 4), las variables con diferencias significativas entre la fertilización orgánica fueron: altura de la planta a 30 y 60 días del trasplante, diámetro de tallo a 30 días del trasplante, días a floración, día a fructificación, días a maduración, tasa de crecimiento, peso total de fruto al 5° racimo, peso promedio de fruto, diámetro ecuatorial y polar de frutos.

Tabla 4. Significancias de cuadros medios del análisis de varianza de las variables evaluadas en tomate.

Variables evaluadas	Tratamiento	Repeticion	Promedio	CV (%)
Altura de la planta a 30 ddt	681.9 ^{**}	111.7 [*]	51.3	10.5
Altura de la planta a 60 ddt	409.8 [*]	198.4 ^{ns}	148.1	10.5
Tasa de crecimiento 1	0.006 ^{**}	0.003 [*]	0.65	4.4
Altura de la planta a 90 ddt	810.3 ^{ns}	3428 [*]	251	9.2
Diámetro de tallo a 30 ddt	0.107 ^{**}	0.049 [*]	0.69	16.6
Tasa de crecimiento 2	0.002 ^{ns}	0.006 [*]	0.41	8.28
Diámetro de tallo a 60 ddt	0.037 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.99	17.3
Diámetro de tallo a 90 ddt	0.021 ^{ns}	0.018 ^{ns}	0.93	13.6
Día a floración ddt	59.06 ^{**}	25.5 ^{**}	31.0	3.6
Día a fructificación	33.17 ^{**}	8.33 ^{**}	38.1	2.8
Día a maduración	19.35 ^{**}	4.08 ^{ns}	83.8	1.6
Número de flores por racimo	0.48 ^{ns}	0.179 ^{ns}	7.6	8.7
Número total de flores al 5° racimo	29.26 ^{ns}	29.5 ^{ns}	38.3	12.6
Número de frutos por racimo	0.223 ^{ns}	0.28 ^{ns}	6.6	7.7
Número total de frutos al 5° racim	18.2 ^{ns}	23.08 ^{ns}	33.3	13.6
Peso total de fruto al 5° racimo	572537 ^{**}	104956 ^{ns}	2730	16.6
Peso promedio por racimo	6337 ^{ns}	1181.3 ^{ns}	542.4	10.9
Diámetro ecuatorial de frutos	6.90 ^{**}	40.22 ^{**}	53.8	2.7
Diámetro polar frutos (mm)	6.81 [*]	63.20 ^{**}	53.7	3.3
Peso promedio de fruto	556.7 ^{**}	322.6 ^{ns}	82.2	14.3

ddt = días después del trasplante; ns = no significativo ($p > 0.05$); * = significativo ($p < 0.05$); ** = significativo ($p < 0.01$).

Con respecto a la altura de planta a los 30 y 60 días después del trasplante (Tabla 5) sobresalieron

significativamente la mayoría de los tratamientos a base de abono de compost (0.75, 1.5 y 3 kg),

lombricompost (0.75 y 1.5 kg), estiércol de bovino (0.75 y 1.5 kg) y gallinaza (0.75) más el “té fermentado”, con un rango de 46.1 a 61.21 cm (30 ddt) y 143.8 a 159.3 cm (60 ddt), duplicando al testigo hidropónico de la solución Steiner (T₂), esto indica que las dosis y combinaciones de fertilizantes orgánicos más el “té fermentado”, tienen una respuesta superior en la altura con respecto al sistema hidropónico. Las enmiendas de abonos o compostas, pueden considerarse una alternativa de fertilización orgánica para la producción de cultivos y hortalizas (Cruz et al., 2012). Además, reportan que aplicaciones de vermicompost pueden sustituir fácilmente el 25% de la cantidad de fertilizante de NPK (Mondal et al., 2017).

La altura a 90 días después del trasplante presentó un rango de 236.8 a 267.1 cm, y fue similar en todos los tratamientos evaluados, también, fue similar a otros estudios. Estos datos estadísticos, demuestran que las dosis propuestas y combinaciones de los fertilizantes orgánicos, más la adición del “té fermentado”, generan respuestas similares que el testigo hidropónico.

Con respecto a la tasa de crecimiento de altura de planta sobresalieron significativamente los

tratamientos con dosis de 1.5 kg y combinados de abonos de lombricompost más gallinaza y compost más gallinaza (T₅ y T₈) y T₂ (testigo químico) a la mayoría de los tratamientos, lo que significa que las combinaciones de abonos orgánicos más el té fermentado, tiene la misma respuesta de crecimiento que el sistema de cultivo hidropónico con la solución nutritiva Steiner (Tabla 5). Sin embargo, los extractos acuosos obtenidos del compost o vermicompost-té, a menudo tienen deficiencias en macronutrientes y desequilibrios iónicos (Ruiz et al., 2022). En cambio, se puede lograr una mejor eficiencia en el uso del agua en el sistema orgánico (Preciado et al., 2011).

El diámetro de tallo (0.62 a 0.88 cm) a los 30 días después del trasplante en la mayoría de los tratamientos orgánicos fueron superiores estadísticamente a los 0.50 cm obtenidos en el testigo hidropónico (T₂). La respuesta de las dosis, combinaciones de los fertilizantes orgánicos y té fermentado, utilizados en el estudio, fueron similares en la tasa de crecimiento del diámetro del tallo en crecimiento de las plantas del cultivo de tomate (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de medias de variables entre sistemas evaluados.

Trat	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V9	V10	V11
T ₁	61.2 ^a	150.5 ^{ab}	0.59 ^b	237 ¹	0.88 ^a	0.36 ¹	1.0 ¹	29.3 ^c	36 ^f	83.3 ^{bcd}
T ₂	33.0 ^d	133.1 ^b	0.75 ^a	239	0.51 ^c	0.45	0.9	36.3 ^a	42 ^a	83.0 ^{cd}
T ₃	53.4 ^{abc}	142.7 ^{ab}	0.62 ^b	244	0.78 ^{ab}	0.42	0.9	35.3 ^{ab}	37 ^{ef}	83.3 ^{bcd}
T ₄	52.5 ^{bc}	151.2 ^{ab}	0.65 ^b	258	0.62 ^{bc}	0.41	1.0	30.3 ^c	39 ^{cd}	82.0 ^d
T ₅	36.2 ^d	143.8 ^{ab}	0.74 ^a	259	0.55 ^c	0.45	0.9	33.6 ^b	41 ^{ab}	86.3 ^a
T ₆	58.7 ^{ab}	153.7 ^{ab}	0.62 ^b	254	0.76 ^{ab}	0.39	1.0	29.0 ^c	36 ^f	81.3 ^d
T ₇	57.0 ^{ab}	159.3 ^a	0.64 ^b	267	0.77 ^{ab}	0.40	0.9	29.6 ^c	38 ^{def}	85.3 ^{ab}
T ₈	46.1 ^c	147.1 ^{ab}	0.67 ^{ab}	262	0.68 ^{bc}	0.44	0.9	30.6 ^c	40 ^{bc}	84.3 ^{abc}
T ₉	57.5 ^{ab}	154.8 ^{ab}	0.64 ^b	250	0.66 ^{bc}	0.37	1.0	29.3 ^c	37 ^{ef}	84.3 ^{abc}
T ₁₀	53.1 ^{abc}	145.1 ^{ab}	0.63 ^b	252	0.66 ^{bc}	0.42	0.9	29.3 ^c	37 ^{ef}	84.3 ^{abc}
T ₁₁	53 ^{abc}	147.1 ^{ab}	0.64 ^b	242	0.78 ^{ab}	0.40	1.1	30.3 ^c	38 ^{cde}	85.3 ^{ab}
T ₁₂	54.7 ^{ab}	148.5 ^{ab}	0.62 ^b	249	0.62 ^{bc}	0.42	0.9	29.9 ^c	37 ^{ef}	82.6 ^{cd}

V₁= altura (cm) 30 ddt; V₂=altura (cm) 60 ddt; V₃ = tasa de crecimiento 1; V₄= altura (cm) 90 ddt; V₅= diámetro tallo (cm) 30 ddt; V₆ = tasa de crecimiento 2; V₇= diámetro tallo (cm) 60 ddt; V₉ = días a floración ddt; V₁₀ = días a fructificación ddt; V₁₁ = días a maduración; en la columna, medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, $p < 0.05$).

En relación con los días a floración (29 a 33 días después del trasplante del primer racimo floral) y fructificación (36 a 40 días ddt) en la mayoría de los tratamientos orgánicos fueron similares en precocidad comparado con el tratamiento hidropónico T₂ y el tratamiento orgánico T₅ que fueron los más tardíos (42 y 41 días, respectivamente), en cambio hubo un comportamiento similar y significativo con el testigo hidropónico en la variable fisiológica días a maduración (Tabla 5).

Cabe señalar que en los tratamientos no hubo diferencias significativas en el número de frutos por planta al 5° racimo obteniéndose un rango de 30 a 35 frutos (Tabla 6). Los resultados de Capulín-Grande et al. (2011), fueron similares (30 a 35 frutos) utilizando extractos de estiércol bovino fermentado a una conductividad eléctrica de 2 dS m⁻².

En el peso promedio de frutos por racimo y en el rendimiento total por planta al 5° racimo no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos alcanzando un rendimiento máximo de 2.96 kg, significativamente similar al sistema de cultivo hidropónico (2.85 kg). Además, superaron el rendimiento que reportan Preciado et al. (2011) quienes obtuvieron 1.45 kg utilizando té de compost y 2.42 kg con té de vermicompost y en una densidad de 4.2 plantas m⁻², con abonos orgánicos en condiciones de invernadero.

Es importante mencionar que la fertilización orgánica de compost a una dosis de 3 y 1.5 kg (T₇ y T₁₂) más el “té fermentado” aplicado diariamente, sobresalió estadísticamente con 5.5 cm de diámetro ecuatorial de fruto comparado con el testigo hidropónico (5.25 cm) y el T₅ (5.22 cm) a base de lombricompost (1.5 kg) más gallinaza (1.5 kg). Al respecto, Vázquez et al. (2015) obtuvieron resultados similares al diámetro ecuatorial de 5.2 a 5.6 cm en fruto tipo saladette con la aplicación de “té de compost”.

Con relación al diámetro polar de fruto, cabe señalar que no presentaron diferencias significativas los tratamientos orgánicos con el testigo hidropónico, sin embargo, el tratamiento orgánico compuesto a base de lombricompost (1.5 kg) más la aplicación diaria del té fermentado (5.50 cm) fue superior significativamente al compuesto a base de la enmienda compost (1.5 kg) con 5.19 cm. Resultados reportados por Preciado et al. (2011) quienes obtuvieron un diámetro polar 5.87 cm en tomate con té de compost y con enmiendas orgánicas en condiciones de invernadero.

En el peso promedio de fruto no presentó diferencias significativas entre los sistemas orgánicos con el sistema hidropónico, no obstante, sí hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos orgánicos, sobresaliendo la combinación de los fertilizantes orgánicos (lombricompost, compost, estiércol bovino y gallinaza) con dosis de 0.75 kg (T₃), comparados con los tratamientos que contenían 1.5 kg de compost (T₈) y 1.5 y 3 kg de lombricompost (T₅ y T₄). Esto confirma que la combinación del compost junto al vermicompost permite obtener un producto con mejores propiedades agronómicas (Vázquez et al., 2015). Los resultados obtenidos en este estudio (95.4 g peso promedio de fruto) superan a los reportados por Capulín-Grande et al. (2011) los cuales, fueron menores (79.8 g peso promedio de fruto).

Los resultados obtenidos del análisis fotométrico de la extracción de nutrientes de los fertilizantes orgánicos o “té fermentado” (3.6 meqL⁻¹ de NO₃⁻; 9.8 meqL⁻¹ de PO₄³⁻; 8.2 meqL⁻¹ de K; 3.5 meqL⁻¹ de Mg; 4.4 meqL⁻¹ de Ca y 5.3 meqL⁻¹ de SO₄⁼), pH neutro y CE de 2 a 3 dS m⁻², coinciden con las fuentes de nutrición orgánica reportadas para compost, lombricomposta, gallinaza y lixiviados o fermentados para el cultivo de tomate. Por lo que, es una opción apropiada para la producción orgánica de este cultivo (Luna et al., 2015; Cruz et al., 2012; Vázquez et al., 2015; Gonzales et al., 2013).

Tabla 6. Comparación de medias de variables relacionadas con el rendimiento.

Id	Dosis y combinaciones de enmiendas	V15	V16	V17	V18	V19	V20
T ₁	Suelo + “té fermentado”	32.8 ¹	2.95a	577.9 ¹	5.40ab	5.42ab	89.6ab
T ₂	Testigo químico hidropónico	33.6	2.85ab	557.1	5.25 b	5.41ab	85.2abc
T ₃	L(0.75) + EB(0.75)+G(0.75)+C (.75)+Té	31.3	2.90a	569.4	5.40ab	5.49a	95.4a
T ₄	L (3 kg) + Té	34.7	2.65ab	530.4	5.38ab	5.32ab	76.6bc
T ₅	L (1.5 kg) + G (1.5 kg) + Té	33.8	2.39ab	487.2	5.22 b	5.28ab	70.6c
T ₆	L (1.5 kg) + EB (1.5 kg) + Té	32.3	2.77ab	561.2	5.38ab	5.50a	86.3abc
T ₇	C (3 kg) + Té	35.5	2.96a	589.6	5.50a	5.40ab	83.3abc
T ₈	C (1.5 kg) + G (1.5 kg) + Té	30.6	2.18 b	435.8	5.31ab	5.32ab	71.3bc
T ₉	C (1.5 kg) + EB (1.5 kg) + Té	34.3	2.93a	587.4	5.40ab	5.19 b	85.5abc
T ₁₀	C (1.5 kg) + L (1.5 kg) + Té	34.3	2.67ab	533.6	5.35ab	5.40ab	77.6abc
T ₁₁	C (1.5 kg) + L (0.75 kg) + Té	33.5	2.55ab	509.6	5.40ab	5.34ab	75.5bc
T ₁₂	C (1.5 kg) + L (0.75kg) + EB (0.75kg) + Té	32.6	2.95a	569.3	5.52a	5.38ab	90.1ab

V₁₅ = número total de frutos al 5° racimo; V₁₆= peso total de frutos al 5° racimo (kg); V₁₇=peso promedio por racimo (g); V₁₈=diámetro ecuatorial de frutos (cm); V₁₉=diámetro polar de frutos (cm); V₂₀= peso promedio de fruto (g). ¹En columna no hubo significancia; medias con la misma letra no difieren significativamente (Tukey, p < 0.05).

En la Tabla 7, se corrobora que todos los tratamientos presentaron una correlación significativa con el testigo químico o sistema hidropónico (T₂) compuesto por la solución nutritiva Steiner excepto con el T₅. Esto implica que sustancialmente no hay una diferencia significativa de respuesta en crecimiento y desarrollo de tomate, usando lombricomposta (1.5 kg) y la aplicación diaria del té fermentado con el T₅, y este tratamiento fue similar al T₄ a base de lombricompost (3 kg), T₁₀ con su combinación lombricompost (1.5 kg) más compost (1.5 kg), así como el T₇ y T₈ compuestos de compost (3 y 1.5 kg) y diferentes al T₃, T₆, T₉, T₁₁ y T₁₂. Esto indica que los extractos acuosos utilizados en la agricultura orgánica, como el compost-te o vermicompost-té, a menudo tienen deficiencias en macronutrientes y desequilibrios iónicos (Ruiz y Salas, 2022). Sin embargo, se corrobora la importancia del uso de fertilizantes orgánicos en la producción de hortalizas (Muñoz et al., 2013) para el uso eficiente del agua en suelo cultivable (Carballo-Méndez et al., 2018) y como una alternativa de fertilización orgánica en la agricultura ecológica y convencional (Ilahi et al., 2020).

Con base en el análisis canónico, presentado en la **Figura 2**, la dispersión de los tratamientos en

función de las variables evaluadas, se observan ciertas afinidades de respuesta entre los tratamientos. Los primeros dos ejes explicaron 73.8% de la varianza total.

El primer componente canónico (CCI) explicó el 47.3% de la variación total y estuvo asociado con la tasa de crecimiento de tallo a 60 y 90 días después del trasplante, días a floración y fructificación, sobresaliendo el T₅ similar al testigo solución nutritiva Steiner. En el segundo componente canónico (CC2) la variación fue determinada por la tasa de crecimiento de tallo a los 90 días del trasplante, días a maduración de frutos y flores por racimo, sobresaliendo los tratamientos T₁₁ y T₈. Estos abonos, contienen composta, lombricomposta y gallinaza, lo que asevera que estos abonos son eficientes obtenidos del proceso de vermicompostaje, es conocida como una tecnología de gestión de residuos de manera eficiente y respetuosa del medio ambiente, a un nivel que puede ser fácilmente almacenado, manipulado, sin efectos adversos en cultivos agrícolas (Villegas y Laines, 2017). Además, confirma que el aporte de gallinaza generó similitudes en crecimiento y rendimiento del cultivo (Díaz y Sandoval, 2023).

Tabla 7. Correlaciones entre los sistemas variables respuestas evaluadas del tomate.

Trata- miento (T)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂
T ₁	01											
T ₂	149**	0										
	0.00	1.00										
T ₃	26.1 ^{ns}	94.7*	0									
	0.24	0.02	1.00									
T ₄	47.8 ^{ns}	64.2*	55.1*	0								
	0.04	0.01	0.03	1.00								
T ₅	71.7 ^{ns}	33.3 ^{ns}	56.5*	36.0 ^{ns}	0							
	0.010	0.133	0.025	0.108	1.00							
T ₆	14.3 ^{ns}	100.3*	26.1 ^{ns}	24.3 ^{ns}	49.8*	0						
	0.63	0.01	0.24	0.28	0.04	1.00						
T ₇	16.7 ^{ns}	122.6*	46.7*	35.5 ^{ns}	45.6 ^{ns}	26.9 ^{ns}	0					
	0.53	0.01	0.05	0.11	0.05	0.23	1.00					
T ₈	50.2*	94.1*	57.2*	71.0*	39.7 ^{ns}	55.1*	46.4*	0				
	0.037	0.003	0.023	0.010	0.081	0.027	0.049	1.00				
T ₉	35.4 ^{ns}	114.0*	55.7*	17.7 ^{ns}	62.6*	27.3 ^{ns}	28.6 ^{ns}	96.3*	0			
	0.113	0.001	0.026	0.488	0.017	0.22	0.196	0.003	1.00			
T ₁₀	13.6 ^{ns}	109.2*	32.8 ^{ns}	35.3 ^{ns}	42.1 ^{ns}	14.5 ^{ns}	9.8 ^{ns}	33.0 ^{ns}	39.2 ^{ns}	0		
	0.667	0.002	0.140	0.114	0.068	0.626	0.84	0.137	0.084	1.00		
T ₁₁	18.6 ^{ns}	142**	42.4 ^{ns}	64.2*	55.1*	38.0 ^{ns}	19.0 ^{ns}	23.9 ^{ns}	67.5*	19.5 ^{ns}	0	
	0.455	0.001	0.066	0.015	0.027	0.092	0.44	0.291	0.012	0.423	1.00	
T ₁₂	13 ^{ns}	109*	36 ^{ns}	21 ^{ns}	48*	12 ^{ns}	7 ^{ns}	49*	19 ^{ns}	10 ^{ns}	24 ^{ns}	0
	0.70	0.01	0.11	0.37	0.05	0.75	0.96	0.04	0.44	0.83	0.30	1.00

¹En columna, ns = no significativo ($p > 0.05$); * = significativo ($p < 0.05$); ** = significativo ($p < 0.01$), con la Prueba de Correlación de Pearson.

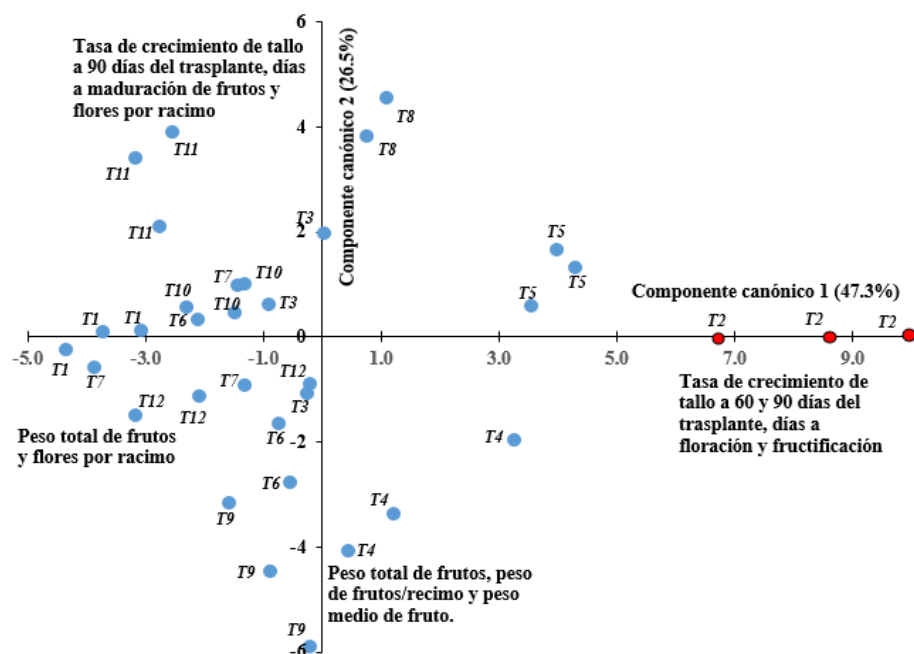


Figura 2. Dispersión de tratamientos evaluados en función de los primeros dos componentes canónicos.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la fertilización orgánica del tomate en cultivo sin suelo bajo condiciones de invernadero, tenía la solución orgánica con un pH 6.5 y CE= 2.5 dS m⁻¹ aplicada como “té fermentado” a las diferentes fuentes de fertilización orgánica, compuestos de compost, lombricompost, estiércol bovino y gallinaza, con dosis de 3, 1.5 y 0.75 kg y sus combinaciones de los mismos abonos orgánicos, estos, presentaron una respuesta significativa en el desarrollo, crecimiento y producción de tomate, con referencia a la respuesta del sistema hidropónico con la solución Steiner.

La fertilización orgánica con dosis y aplicación del “té fermentado” de mayor respuesta fueron: la combinación de lombricompost (0.75 kg) + estiércol bovino (0.75 kg) + gallinaza (0.75 kg) + compost (0.75 kg); el compost (3 y 1.5 kg); lombricompost (1.5 kg) y la combinación compost (1.5 kg) más lombricompost (1.5 kg).

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses con respecto a la publicación de este artículo.

FINANCIAMIENTO

La investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México y realizado en las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca.

REFERENCIAS

- Capulin-Grande, J., Mohedano-Caballero, L., Sandoval-Estrada, M., Capulin-Valencia, J.C. (2011). Estiércol bovino líquido y fertilizantes inorgánicos en el rendimiento de jitomate en un sistema hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 17(2), 105-114. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.013>
- Carballo-Méndez, F. de J., Rodríguez-Ortiz, J.C., Alcalá-Jáuregui, J.A., Rodríguez-Fuentes, H., Preciado-Rangel, P., García-Hernández, J.L. (2018). Comparison of two organic determinate tomato (*Solanum lycopersicon* L) production systems in a controlled. *Interciencia*, 43(1), 62-65. <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/477972>
- Cesarano, G., Francesca F., De F., La Storia, A., Scala, F., Bonanomi, G. (2017). Organic amendment type and application frequency affect crop yields, soil fertility and microbiome composition. *Applied Soil Ecology*, 120, 254-264. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.017>
- Cruz C., E., Sandoval V., M., Volke H., V.H., Álvaro Can C., A. y Escudero, J. (2012). Efecto de mezclas de sustratos y concentraciones de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1361-1373. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1343>
- Demiraj, E., Libutti, A., Malltezi, J., Rroço, E., Brahushi, F., Monteleone, M., Sulejman Sulçe, S. (2018). Effect of organic amendments on nitrate leaching mitigation in a sandy loam soil of Shkodra district, Albania. *Italian Journal of Agronomy*, 13, 1136, 93-102. <https://doi.org/10.4081/ija.2018.1136>
- Díaz-Vázquez, FA, Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia del acolchado y gallinaza en producción de tomate silvestre (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Dunal)). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1): e3605. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3605>
- Domínguez, J., Gómez B., M. y Lazcano, C. (2010). Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(num. Esp. 2), 373-383. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262901>
- El-Haddad, M.E., Mona S. Zayed, El-Sayed G.A.M., Hassanein M.K., Abd El-Satar A.M. (2014). Evaluation of compost, vermicompost and their teas produced from rice straw as affected by addition of different supplements.

- Annals of Agricultural Science*, 59(2),243-251.
<https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.11.013>
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2014). "What is organic agriculture" [en línea]: <<http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/en/>> [consultado en julio de 2020].
- Gómez C., M.A., Schwentesius R., R., Ortigoza R., J., & Gómez T., L. (2010). Situación y desafíos del sector orgánico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4): 593-608.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007...
- Gonzales S., K.D., Rodríguez M., Ma de las N., Trejo T., L.I., Sánchez E., J., y García C., J.L. (2013). Propiedades químicas de tés de Vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5,901-911.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09
- Hernández-Rodríguez, A., Robles-Hernández, L., Ojeda-Barrios, D., Prieto-Luévano, J., González-Franco, A.C. & Guerrero-Prieto, V. (2017). Semicomposta y vermicomposta mezclada con turba de musgo incrementa la germinación de semilla y desarrollo de plántulas de tomate y lechuga. *Interciencia*, 42 (11),774-779.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6182650>
- IFOAM, (2014). "Definition of Organic Agriculture" [en línea]: <<http://www.ifoam.org/en/organic-landmarks/definition-or-ganic-agriculture>> [consultado en junio de 2021].
- Ilahi, H., Hidayat, K., Adnan, M., Rehman, F., Tahir, R., Saeed, M. S., Shah, S. W. A., & Toor, M. D. (2020). Accentuating the Impact of Inorganic and Organic Fertilizers on Agriculture Crop Production: A Review, *Ind. J. Pure App. Biosci.* 9(1),36-45.
<http://dx.doi.org/10.18782/2582-2845.8546>
- Luna M., R.A., Reyes P., J.J., López B., R.J., Reyes B., M., Murillo C.o, G., Samaniego A., C., Espinoza C., A., Ulloa M., C. y Travéz T., R. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Centro Agrícola*, 42(4), 67-74.
cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-42-2015/numero-4-2015/68...
- Mondal, T., Kumar Datta, J.K., Mondal, N.K. (2017). Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and biochemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2),135-144.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>
- Morales-Maldonado, E.R. y Casanova-Lugo F., (2015). Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2),365-372.
<http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i2.19331>
- Muhammand, Z.A., Muhammad, A., Muhammad, H., Basat-ur-Rehman, B., Muhammad A., Taimur Ahmad, Abd-ur-Rehman, H., & Muhammad Zohaib A. (2020). Organic and Inorganic Fertilizer; Integral Part for Crop Production. *EC Agriculture*, 6(3),01-07.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Organic-and-Inorganic-Fertilizer%3B-Integral-Part-for-Adnan-Asif/0f19081737ad64ab8cca3bbd28368e77c7385a04>
- Muñoz V., J.A., Velásquez V., M.A., Osuna C., E.S. y Macías R., H. (2013). El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 27-32.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545054005>
- Preciado R., P., Fortis H., M., García H., J.L., Rueda P., E.O., Esperanza R., J.R., Lara H., A., Segura C., M.A. y Orozco V., J.A. (2011). Evaluaciones de soluciones nutritivas Orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 36, 689-693.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921204009>

Ramos P., M., Carrillo R., J.C., Enríquez del V., R. y Velasco V., V. (2009). Fertilizantes orgánicos en la producción de jitomate tipo riñón en Oaxaca, México. *Naturaleza y Desarrollo*, 7(1), 39-44.

<https://web.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/?q=nod e/15>

Ríos-Osorio, O., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., & Vera-Guzmán, A. M. (2014). Variación agromorfológica y cambios biofísicos poscosecha en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46(2), 29-44. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837658006>

Román, P., Martínez, M.M., Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2013), *Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile*, 112 p. <https://sswm.info/es/node/11815>

Ruiz, J., & Salas S., M. del C. (2022). The use of plant growth promoting bacteria for biofertilization; effects on concentrations of nutrients in inoculated aqueous vermicompost extract and on the yield and quality of tomatoes. *Biological Agriculture and Horticulture*, 38.

DOI:10.1080/01448765.2021.2010596

SIAP, (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Estadísticas de Producción Agrícola 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), México. [en

línea]:

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.2021 [consultado en marzo de 2021].

Saldaña H., M.I., Gómez Á. R., Rivera C., M. del C., Álvarez S., J.D., Ortiz G., C.F., & Pat F., J.M. (2014). Efecto de abonos orgánicos en la dinámica microbiológica del suelo y producción de *Alpinia purpurata* (Vieill) K. Schum. *Interciencia* 39(11): 809-813.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932572008>

USDA, United States Department of Agriculture. (2014). "Organic Agriculture" [en línea]: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome?contentidonly=true&contentid=organicagriculture.html>> [consultado en julio de 2021].

Vázquez V., P., García López, M.Z., Navarro Cortez, M.C., García Hernández, D. (2015). Efecto de la composta y te de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 19(36), 1351-1356.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14132408020>

Villegas-Cornelio, M. y Laines-Canepa, J.R. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 407-421. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.60>

Yadav, S.K., Subhash Babu, M.K., Kalyan Singh, Y., Yadav, G.S., & Suresh Pal. (2015). A Review of Organic Farming for Sustainable Agriculture in Northern India. *International Journal of Agronomy*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/718145>

ESCENARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE *Agave potatorum* Zucc. ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Agave potatorum Zucc. DISTRIBUTION SCENARIOS IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE

¹Pedro Antonio García-Morales , ^{1S}Vicente Arturo Velasco-Velasco , ¹José Raymundo Enríquez-del Valle , ¹Judith Ruiz- Luna , ²Abisai Josué García-Mendoza 

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. ²Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Biología, Jardín Botánico. Apdo. postal 70-614, Coyoacán 04510 México, D.F. [§]Autor de correspondencia: (vicente.vv@voaxaca.tecnm.com).

RESUMEN

Los cambios ambientales afectan la distribución de especies de interés económico, como *Agave potatorum* fuente de materia prima para elaborar mezcal. El objetivo del estudio fue analizar la distribución potencial de *A. potatorum*, e identificar zonas potenciales de crecimiento bajo dos escenarios de cambio climático en Oaxaca y Puebla. Se consultaron ejemplares de herbario y se consideraron 22 variables ambientales. Se utilizó el Modelo Climático Global (MCG) alemán MPI-M y francés CNMR, bajo dos vías representativas de concentración de gases de efecto invernadero (RCP) rcp4.5 y rcp8.5 en un futuro medio al año 2050, las proyecciones se realizaron con el algoritmo MaxEnt. La distribución de *A. potatorum* con potencial alto abarca 11,725.8 km² en ambos estados, siendo la altitud y precipitación del trimestre más húmedo las variables que explican la distribución de la especie. La proyección mediante rcp4.5 y rcp8.5 para el modelo alemán se reducirá 72.6 % y 75.6 % respectivamente, para el modelo francés 68.5 % y 65.6 %, la expansión para ambos modelos aumentará 29.9 % y 19.5 % para el modelo alemán y para el modelo francés 21.1 % y 25.5 %. *A. potatorum* mantendrá su distribución sobre su nicho conocido, con reducciones y expansiones por efectos del cambio climático.

Palabras clave: MaxEnt, modelo climático global, nicho ecológico.

ABSTRACT

Environmental changes affect the distribution of interest economic species, such as *Agave potatorum* source of raw material to make mezcal. The objective of the study was to analyze the potential distribution of *A. potatorum*, and to identify potential growth zones under two climate change scenarios in Oaxaca and Puebla. Herbarium specimens were consulted, and 22 environmental variables were considered. The German MPI-M and French CNMR Global Climate Model (GCM) was used, under two representative greenhouse gas concentration pathways (RCP) rcp4.5 and rcp8.5 in the mid-future to the year 2050, the projections were made with the MaxEnt algorithm. The distribution of *A. potatorum* with high potential covers 11,725.8 km² in both states, being the altitude and precipitation of the wettest quarter the variables that explain the distribution of the species. The projection through rcp4.5 and rcp8.5 for the German model will be reduced 72.6 % and 75.6 % respectively, for the French model 68.5% and 65.6 %, the expansion for both models will increase 29.9 % and 19.5 % for the German model and for the French model 21.1 % and 25.5 %. *A. potatorum* will maintain its distribution over its known niche, with reductions and expansions because of climate change effects.

Index words: MaxEnt; global climate model; ecological niche.

INTRODUCCIÓN

En las dos décadas recientes, la demanda de materia prima para elaborar mezcal ha causado que los campesinos incrementen el aprovechamiento de poblaciones silvestres de agave, aumentando su riesgo de extinción (Valenzuela-Zapata & Sarita-Gaytan 2012; Vega-Vera & Pérez-Akaki, 2017). Al verse interrumpido su desarrollo, fisiología, reproducción, migración y distribución geográfica son menos resilientes a los cambios ambientales de su entorno (Nicolás-Tammone, 2016; Uribe-Botero, 2015). *Agave potatorum* Zucc. es una especie silvestre afectada por su aprovechamiento no sustentable.

En México, el uso de modelos climáticos globales (MCG), estima que durante el periodo 2020-2100, la tendencia es hacia un aumento de temperatura entre 0.5 y 4.8 °C y una reducción de la precipitación hasta 15 % en invierno y 5 % en verano a nivel nacional (Sosa-Rodríguez, 2015), tal incertidumbre afectaría el rendimiento de especies de interés económico. Por ello, la modelación de nicho ecológico de especies es una herramienta que permite predecir la presencia de especies en diferentes áreas con las mismas características y las tendencias de cambios a futuras condiciones ambientales (Phillips, Anderson & Schapire 2006; Rezende, de Oliveira-Filho, Eisenlohr, Yoshino-Kamino & Vibrans, 2015).

Torres-García (2015) indica que las áreas obtenidas con los mapas de distribución potencial contribuyen a la toma de decisiones para determinar sitios de conservación o establecimiento de cultivos de interés económico. Para su aplicación existen diversos programas como MaxEnt (Máxima entropía) que estima una distribución de probabilidad, mediante datos de presencia de especies y variables ambientales. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio consistió en modelar la distribución potencial de *A. potatorum* mediante el uso de registros de herbarios y variables ambientales, así como

identificar zonas potenciales de crecimiento bajo diferentes escenarios de cambio climático en su área de distribución en Oaxaca y Puebla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y fuentes de información

La proyección de *A. potatorum* se realizó en los territorios de Oaxaca y Puebla, área de distribución natural conocida de la especie (García-Mendoza, 2011). Los registros de presencia se determinaron mediante la consulta de ejemplares en el Herbario Nacional de México (MEXU) y bases de datos en herbarios virtuales: Herbario de plantas vasculares de la Universidad Estatal de Arizona (ASU); Herbario de la Universidad de Arizona (ARIZ); Herbario Nacional de los Estados Unidos (US); Herbario del Jardín Botánico del Desierto (DES); Jardín Botánico de Missouri (MO) y Jstor Global Plants. Dicha información se complementó con registros y colectas de la especie en localidades de Oaxaca y Puebla. Posteriormente se elaboró una base de datos en Excel® y se eliminaron registros con información geográfica insuficiente, registros históricos dudosos y duplicados.

Selección de variables ambientales

Se consideraron 22 variables ambientales (Tabla I) en formato raster con resolución de 30s de arco, por lo cual se obtuvieron 19 variables bioclimáticas (Cuervo-Robayo, Téllez-Valdés, Gómez, Venegas-Barrera, 2013) y tres variables topográficas Altitud, Exposición y Pendiente, generadas a partir del modelo de elevación digital GTOPO30. Las variables se limitaron a los estados de Oaxaca, Puebla, Guerrero y Morelos. Dicha información fue procesada de imágenes raster a formato ascii en el software ArcGis® versión 10.5. Las variables se procesaron en un análisis de componentes principales (ACP) para minimizar la autocorrelación entre variables (Cruz-Cárdenas, López-Mata, Villaseñor y Ortiz, 2014) en el software estadístico PAST® versión 3.22.

Tabla I. Variables bioclimáticas y topográficas utilizadas para generar el modelo de distribución potencial de *A. potatorum* Zucc.

Acrónimo	Predictores ambientales
Bio1	Temperatura media anual
Bio2	Rango diurno medio (media mensual (temp. máx. - temp. mín))
Bio3	Isotermia (Bio2/Bio7) *(100)
Bio4	Estacionalidad de temperatura (Desv. Estand. * 100)
Bio5	Temperatura máxima del mes más cálido
Bio6	Temperatura mínima del mes más frío
Bio7	Rango anual de temperatura (Bio5 - Bio6)
Bio8	Temperatura media del trimestre más húmedo
Bio9	Temperatura media del trimestre más seco
Bio10	Temperatura media del trimestre más cálido
Bio11	Temperatura media del trimestre más frío
Bio12	Precipitación anual
Bio13	Precipitación del mes más húmedo
Bio14	Precipitación del mes más seco
Bio15	Temporada de precipitación
Bio16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio17	Precipitación del trimestre más seco
Bio18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio19	Precipitación del trimestre más frío
EXP	Exposición
PE	Pendiente
Al	Altitud

Análisis de información

La evaluación del modelo se realizó en el software MaxEnt versión 3.4.1, un algoritmo que busca la uniformidad más cercana entre especies en un espacio geográfico (Alba-Sánchez, López-Sáez, Benito-de Pando, Linares, Nieto-Lugild y López-Merino, 2010; Phillips et al., 2006). La información se calibró empleando 75 % de los registros de la especie como entrenamiento y 25 % para validar el modelo. Se aplicaron 10 réplicas para el modelo, dejando las funciones predeterminadas del programa con 500 interacciones, umbral de convergencia de 0.00001 y 10,000 iteraciones (Giménez-Analía, Giannini-Norberto, Schiaffinni-Mauro, Matín-Gabriel, 2015; Martínez-Méndez, Aguirre-Planter, Eguiarte, Jaramillo-Correa, 2016; Ruíz-Sánchez, Mendoza-González & Rojas-Soto, 2018). Se consideró la salida logística el cual aporta un valor

entre 0 y 1 de probabilidad de presencia (Phillips, 2010).

La precisión del modelo se evaluó mediante el índice AUC (área bajo la curva) como estadístico de ajuste, y las variables ambientales que contribuyeron mejor al modelo se determinaron con el análisis Jackknife. Las salidas generadas se procesaron nuevamente en ArcGis y se agruparon en cuatro categorías, potencial alto (>0.6), potencial medio (0.4 – 0.6), potencial bajo (0.2 – 0.4) y no potencial (<0.2) (Zhang, Yao, Meng & Tao, 2018). Finalmente, la distribución de *A. potatorum* se proyectó sobre dos escenarios de cambio climático para el año 2050, considerando el modelo climático global (MCG) MPI-M y CNRM (modelo alemán y francés respectivamente) debido a que simulan envolturas climáticas relevantes para México (INECC, 2014).

Tabla 2. Registro de presencia de *A. potatorum* Zucc. en municipios de Oaxaca y Puebla.

Estado	Municipio	Longitud O	Latitud N	Altitud (m)
Oaxaca	Santa Cruz Xoxocotlán	96°46'26.58"	17°02'21.49"	1705
Oaxaca	San Felipe Tejalapam	96°51'15.05"	17°07'40.32"	1820
Oaxaca	San Lorenzo Cacaotepec	96°49'32.60"	17°05'55.50"	1746
Oaxaca	San Andrés Ixtlahuaca	96°51'44.90"	17°04'43.90"	1805
Oaxaca	San Tomas Mazaltepec	96°52'37.80"	17°08'17.34"	1775
Oaxaca	San Bartolo Coyotepec	96°40'30.18"	16°56'13.63"	1714
Puebla	San Juan Tianguismanalco	98°27'47.70"	18°58'34.07"	2174
Puebla	Puebla	98°07'52.16"	18°56'52.22"	2127

Se utilizaron las vías representativas de concentración (RCP) rcp4.5 y rcp8.5 de gases de efecto invernadero (GEI), asumiendo que para el rcp4.5 estos aumentarán moderadamente y se estabilizarán a finales de este siglo, mientras que el rcp8.5, supone un nivel muy alto de emisiones de GEI (IPCC, 2014). Dicha información se obtuvo del portal de la base de datos de WorldClim (Hijmans, Cameron, Parra, Jones & Jarvis, 2005).

RESULTADOS

Registros de la existencia de *A. potatorum*

Se registraron un total de 271 ejemplares de los diferentes herbarios, la depuración de la información se redujo a un total de 104 registros de presencia, al cual se le anexaron 8 registros de

la especie (Tabla 2) ubicados y recolectados en seis municipios de Oaxaca y dos de Puebla.

Distribución potencial de *Agave potatorum* Zucc.

De acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP) las variables ambientales no correlacionadas se situaron en los cuatro primeros componentes con 97.2 % de varianza, estas fueron altitud, exposición, precipitación anual y precipitación del trimestre más húmedo. El área bajo la curva (AUC) para *A. potatorum* presentó un ajuste de 0.901 para los datos de entrenamiento y 0.861 para los datos de validación (Figura 1). Elith, Graham, Anderson, Dudík, Ferrier, Guisan (2006) mencionan que los valores >0.7 indican un buen ajuste, por lo tanto, el modelo de *A. potatorum* fue satisfactorio al presentar un ajuste por encima de lo esperado al azar.

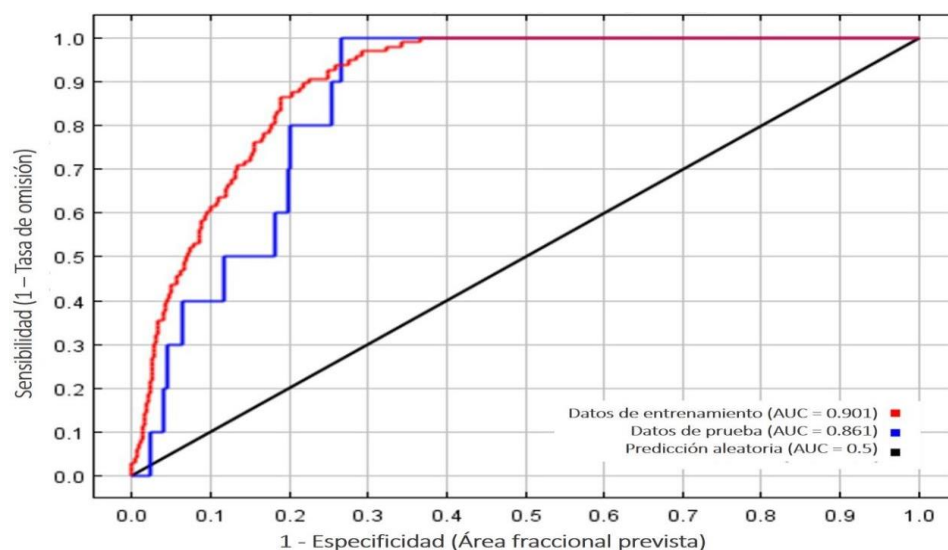


Figura 1. Área bajo la curva para *A. potatorum* Zucc., respecto a datos de entrenamiento, prueba y predicción aleatoria.

Tabla 3. Variables ambientales que condicionan la distribución potencial de *A. potatorum* Zucc. en los estados de Oaxaca y Puebla.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	% contribución
Altitud	879 m	2790 m	51.0
Precipitación del trimestre más húmedo	212 mm	963 mm	44.3
Exposición azimuth	0.26°	355°	3.0
Precipitación anual	418 mm	1801 mm	1.6

Variables de importancia ambiental

El análisis Jackknife (**Tabla 3**) determinó que la altitud contribuye con 51 % en la distribución de la especie, encontrándose en un intervalo de 879 a 2790 m.

La precipitación del trimestre más húmedo (julio, agosto, septiembre) fue la segunda variable con 44.3 % de contribución. Los registros de *A. potatorum* señalan que se encuentra en un intervalo de 212 a 963 mm de precipitación trimestral. Sin embargo, no se descartaría la importancia de la precipitación anual, aunque con

menor contribución al modelo (1.6 %). Probablemente, el aprovechamiento del agua para la especie es más eficiente en periodos de mayor humedad.

La exposición contribuyó con 3 % en la distribución de *A. potatorum* donde los valores $<0.26^\circ$ y $>355^\circ$ indican que algunos sitios con orientación norte no son viables para su desarrollo, aunque la información es escasa para la especie. Las áreas de distribución con idoneidad alta para Oaxaca y Puebla (**Figura 2**) abarcan una superficie de 6,706.7 km² y 5,019.1 km², respectivamente.

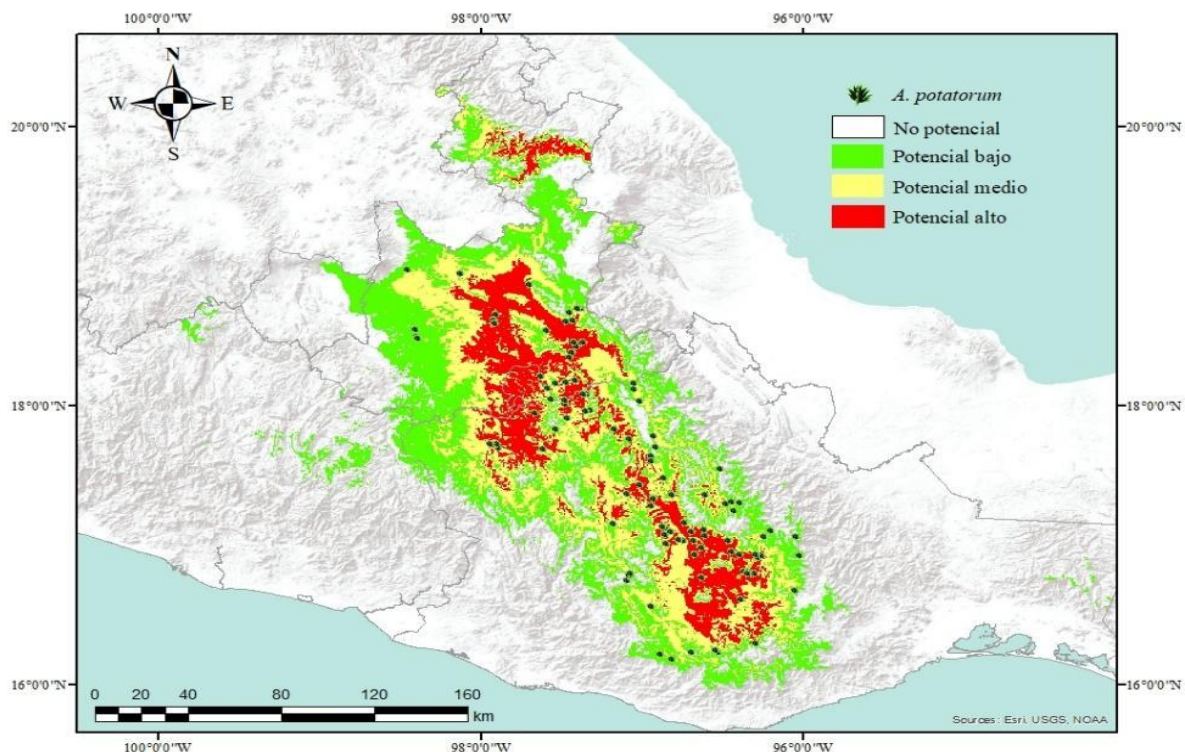


Figura 2. Distribución potencial de *A. potatorum* Zucc. en Oaxaca y Puebla. Fuente: elaboración propia.

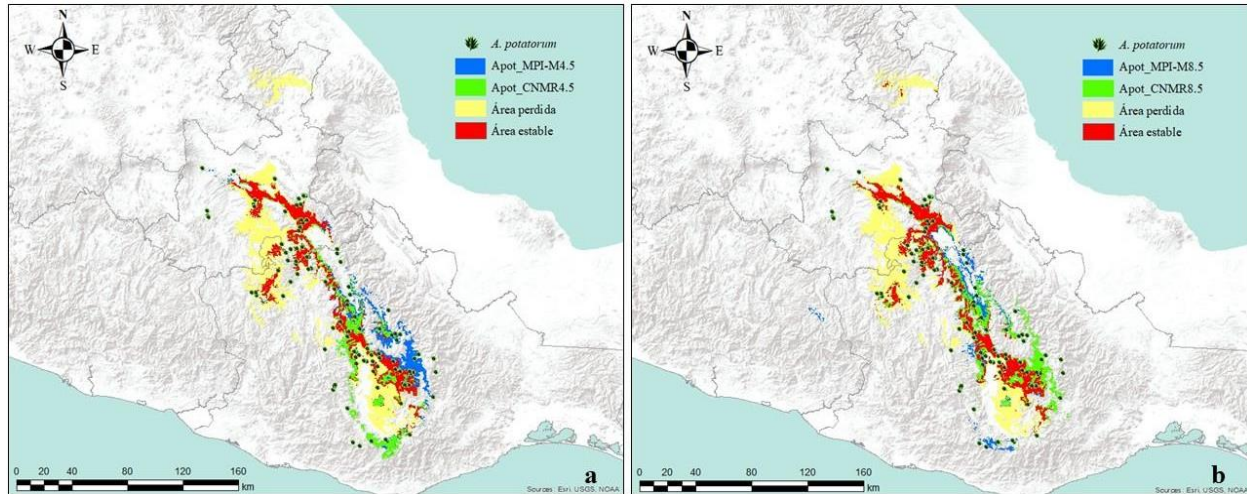


Figura 3. Distribución potencial de *A. potatorum* Zucc. proyectada al año 2050. En azul, expansión para MPI-M bajo rcp4.5 y rcp8.5. En verde, expansión para CNMR bajo rcp4.5 y rcp8.5. En amarillo, área perdida hacia el año 2050. En rojo, coincidencia de la distribución potencial actual, con ambos modelos al año 2050. Fuente: elaboración propia.

Distribución de *Agave potatorum* ante el cambio climático

Para la proyección al año 2050, se consideró el valor del potencial alto de la distribución conocida de *A. potatorum* debido a que son sitios con mayor idoneidad ambiental para la especie. La información mostró que la distribución potencial tiende a reducirse e incrementar con los dos MCG bajo ambos rcp4.5 y rcp8.5 (**Figura 3**). Para el caso del rcp4.5, el modelo CNMR se reduce 68.5 % y para el modelo MPI-M 72.6 % con base en su distribución actual. Por otra parte, el modelo CNMR para el rcp8.5 disminuye 65.6 % y para el modelo MPI-M 75.6 %. Los sitios óptimos se reducirán para la región Balsas en Oaxaca y Puebla, región Tehuantepec y Costa Chica-río Verde en Oaxaca y en la región Tuxpan-Nautla, Puebla. El aumento de superficies idóneas, se desplazarán ligeramente al estado de Morelos 0.01 % respecto al modelo CNMR bajo el rcp4.5 y 0.02 % para el modelo MPI-M, este último bajo el rcp8.5 abarcaría 0.05 % en Guerrero. En Oaxaca y Puebla, la especie ampliaría 21.1 % su rango de distribución con el modelo CNMR rcp4.5 y 29.9 % para el modelo MPI-M. Con el rcp8.5 ambos modelos aumentarían 25.5 % y 19.5 %, respectivamente.

DISCUSIÓN

En Oaxaca, los sitios óptimos para el crecimiento de *A. potatorum* se ubican en la provincia Sierra Madre del Sur y en Puebla, en el Eje Neovolcánico y Sierra Madre Oriental. García-Mendoza (2010) indica que esta especie se distribuye en el extremo oriental de la cuenca río Balsas, el Valle Tehuacán-Cuicatlán, sierras Mixtecas y montañas que rodean los Valles Centrales de Oaxaca. Los resultados mostraron que existe baja idoneidad en los estados de Guerrero y Morelos probablemente porque los modelos de distribución de especies esporádicamente tienden a sobreestimar estos análisis (Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar & Sánchez-Rojas, 2015), por ello, Ocaña-Nava, García-Mendoza & Larson (2007) sugieren realizar la verificación en campo para validar estos modelos sobre la posible existencia de una especie en un sitio hipotético.

Ocaña-Nava et al. (2007) indican que los intervalos adecuados de altitud para *A. potatorum* son de 1000 a 2500 m siendo incapaz de crecer por encima de los 3000 m. Por otra parte, García-Mendoza (2010) menciona que esta especie se encuentra en un intervalo altitudinal de 1300 a 2400 m. (León-Vázquez, Campos-Ángeles,

Enríquez-del Valle, Velasco-Velasco, Marini-Zúñiga & Rodríguez-Ortíz, 2013) aluden que la altitud es uno de los factores más importantes que determinan la distribución de las especies de agave, dentro de ellas *A. potatorum*.

Ocaña-Nava et al. (2007) determinaron que la precipitación anual más favorable en áreas óptimas de distribución potencial para *A. potatorum* es de 600 a 1200 mm. No obstante, en el presente estudio la información sugiere que los sitios óptimos de precipitación anual para la especie requieren de 418 a 1801 mm de humedad.

Ruiz, Medina, Gonzáles, Flores, Ramírez, Ortiz, Byerly & Martínez (2013) mencionan que los sitios con exposición norte y laderas que presentan corrientes de aire muy frío no son óptimos para el desarrollo de *A. tequilana* y *A. salmiana*, posiblemente ocurriría lo mismo con *A. potatorum*.

Arribas, Abellán, Velasco, Bilton, Lobo, Millán y Sánchez (2012) mencionan que la reducción y expansión de sitios óptimos para una especie se debe principalmente a su capacidad de adaptación, pues adecuan sus preferencias a estas nuevas condiciones ambientales si se encuentran dentro de su rango de tolerancia, sin necesidad de modificar sus rangos de distribución, *A. potatorum* como especie endémica, afrontaría estos cambios ambientales sobre su nicho conocido.

La información generada indica que la reducción de estos lugares es mayor en comparación a los sitios de expansión. Sork-L, Davis, Westfall, & Flint (2010) aluden que los estudios de cambio climático sobre la distribución de especies presentan efectos negativos, pues las áreas de retracción son mayores en comparación a las zonas de expansión. Sin embargo, Nobel (2011) menciona que las especies de agaves son capaces de tolerar el cambio climático gracias a su adaptación fisiológica, pero si los agaves en un futuro serán capaces de tolerar el cambio climático, ¿por qué *A. potatorum* reduciría en mayor proporción áreas óptimas en vez de aumentarlas?

Daubenmire (2001) menciona que las especies con distribución ecológica reducida se encuentran sujetas a la extinción si presentan baja variabilidad genética y cambios en su ambiente si exceden su tolerancia, o pueden persistir si el ambiente permanece favorable, alcanzando variabilidad a través de la acumulación de mutaciones. No obstante, el uso no sustentable que se ejerce en las poblaciones de *A. potatorum* como fuente de sustento y de ingreso en materia mezcalera impediría su desplazamiento y pérdida de variabilidad genética, siendo menos tolerantes al cambio climático afectando su distribución.

Finalmente, los modelos climáticos globales (MCG) pueden emplearse para detectar comportamientos anómalos, que puede servir para descartar modelos, pero no para determinar cuáles son mejores (Pérez-García, Méndez-García & Méndez-Incera, 2012). Para el caso del MCG MPI-M y CNRM, estos tienden a ser un tanto similares sobre las mismas áreas de distribución y mostraron adecuarse al área conocida de *A. potatorum*. Sin embargo, son posibles hipótesis que permiten predecir el comportamiento de distribución de la especie a través del tiempo, por efectos del cambio climático.

CONCLUSIONES

Los sitios con mayor idoneidad ambiental para *Agave potatorum* se encuentran principalmente en Oaxaca y Puebla, con muy poca probabilidad en Morelos y Guerrero, siendo la altitud (51 %) y precipitación del trimestre más húmedo (44.3 %) las variables ambientales que condicionan su distribución. Las proyecciones de cambio climático a 2050 con los MCG MPI-M y CNRM bajo ambos rcp4.5 y rcp8.5, sugieren que *A. potatorum* reducirá su distribución, principalmente sobre la región del río Balsas, Valles Centrales de Oaxaca y la región Tuxpan-Nautla en Puebla. Las zonas potenciales seguirán siendo idóneas sobre los valles de Oaxaca y valles de Puebla, expandiéndose sobre las sierras orientales de estos estados. Sin embargo, la extracción para la elaboración de mezcal, de

plantas adultas en etapa reproductiva puede influir negativamente en la distribución de la especie hacia los nuevos sitios que predicen los modelos.

REFERENCIAS

- Alba-Sánchez, F., López-Sáez, J. A., Benito-de Pando, B., Linares, J. C., Nieto-Lugilde, D., & López-Merino, L. (2010). Past and present potential distribution of the Iberian *Abies* species: a phytogeographic approach using fossil pollen data and species distribution models. *Diversity and Distributions*, 16, 214–228. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00636.x>
- Arribas, P., Abellán, P., Velasco, J., Bilton, D. Y., Lobo, J. M., Millán, A., & Sánchez-Fernández, D. (2012). La vulnerabilidad de las especies frente al cambio climático, un reto urgente para la conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas*, 21(3), 79–84. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2012.21-3.10>
- Cruz-Cárdenas, G., López-Mata, L., Villaseño, J. L., & Ortiz, E. (2014). Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 189–199. <https://doi.org/10.7550/rmb.36723>
- Cuervo-Robayo, A. P., Téllez-Valdés, O., Gómez-Albores, M. A., Venegas-barrera, C. S., Manjarrez, J., & Mart, E. (2013). An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology*, 34, 2427–2437. <https://doi.org/10.1002/joc.3848>
- Daubenmire, R. F. (2001). *Ecología vegetal: tratado de autoecología de plantas* (3a ed.). Limusa.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J. McC., Peterson, A. T., Phillips, S. J., Richardson, K. S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz,
- M. S. and, Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129–151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- García-Mendoza, A. J. (2010). Revisión taxonómica del complejo *Agave potatorum* Zucc. (agavaceae): nuevos taxa y neotipificación. *Acta Botánica Mexicana*, 91, 71–93. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S018771512010000200008>
- García-Mendoza, A. J. (2011). *Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Departamento de Botánica. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Giménez-Analía, L., Giannini-Norberto, P., Schiaffini-Mauro, I., & Martin-Gabriel, M. (2015). Geographic and Potential Distribution of a Poorly Known South American Bat, *Histiotus macrotus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Acta Chiropterologica*, 17(1), 143–158. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2015.17.1.012>
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces of global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2014). *Estudio para la incorporación de nuevas variables en los escenarios de cambio climático para México utilizados en la Quinta Comunicación Nacional*. CICESE, SEMARNAT, & INECC. <https://www.gob.mx/inecc/es/documentos/elaboracion-de-un-protocolo-para-la-incorporacion-de-nuevas-variables-en-los-escenarios-de-cambio-climatico-para-las-comunicaciones>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014 Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III*

- al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Organización Meteorológica Mundial (OMM). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- León-Vázquez, N. I., Campos-Ángeles, G. V., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., Marini-Zúñiga, F., y Rodríguez-Ortiz, G. (2013). Diversidad de especies de agave en San Miguel Tilquiapam, Ocotlán, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 1185–1195.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013001000010
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., & Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3–19.
<https://doi.org/10.15174/au.201>
- Martínez-Méndez, N., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., & Jaramillo-Correa, J. P. (2016). Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sciences*, 94(1), 5–24. <https://doi.org/10.17129/botsci.508>
- Nobel, P. S. (2011). *Sabiduría del desierto agaves y cactus* (2a ed.). Biblioteca Básica de Agricultura.
- Ocaña-Nava, D., García-Mendoza, A., & Larson, J. (2007). Modelación supervisada de la distribución de magueyes mezcaleros en México y sus posibles aplicaciones. In P. Colunga-GarcíaMarín, A. Larqué Saavedra, L. E. Eguiarte, & D. Zizumbo-Villareal (Eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves* (pp. 153–174). Centro de Investigación Científica Yucatán, A.C.; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología; Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad Instituto Nacional de Ecología.
- Pérez-García, J., Méndez-García, M. & Méndez-Incera, F. J. (2012). Habilidad de los modelos climáticos globales para el desarrollo de proyecciones regionales. In C. Rodríguez P., A. Ceballos B., N. González R., E. Morán T., & A. Hernández E. (Eds.), *Cambio climático. Extremos e impactos* (Asociación, pp. 187–196). Oficina Española de Cambio Climático mediante, Ministerio de Economía y Competitividad.
<http://hdl.handle.net/20.500.11765/8272>
- Phillips, S. (2010). A Brief Tutorial on Maxent. *Lessons in Conservation*, 3, 108–135. necp.amnh.org/linc/
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Rezende, V. L., De Oliveira-Filho, A. T., Eisenlohr, P. V., Kamino, L. H. Y., & Vibrans, A. C. (2015). Restricted geographic distribution of tree species calls for urgent conservation efforts in the Subtropical Atlantic Forest. *Biodiversity and Conservation*, 24(5), 1057–1071.
<https://doi.org/10.1007/s10531-014-0721-7>
- Ruiz-Sánchez, E., Mendoza-González, G. & Rojas-Soto, O. (2018). Mexican priority bamboo species under scenarios of climate change. In *Ecology* (Vol. 96, Issue 1). <https://doi.org/10.17129/botsci.1206>
- Ruiz C., J. A., G. Medina, G., González A., I. J., Flores L., H. E., Ramírez O, G., Ortiz T., C., Byerly M., K. F. & Martínez P., R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Sork, V. L., Davis, F. W., Westfall, R., Flint, A., Ikegami, M., Wang, H. & Grivet, D. (2010). Gene movement and genetic association with regional climate gradients in California valley oak (*Quercus Née*) in the face of climate change. *Molecular Ecology*, 19, 3806–3823.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04726.x>

- Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6, 4–23. https://www.inegi.org.mx/rde/rde_I5/doctos/rde_I5_art1.pdf
- Nicolas-Tammone, M. (2016). Pérdida de diversidad genética: implicaciones para la evolución y la conservación de dos especies de *Ctenomys* (Rodentia: Ctenomyidae) en Patagonia norte [Universidad Nacional del Comahue]. <http://www.redalyc.org/pdf/457/45746645028.pdf>
- Torres-García, I. (2015). Distribución, aprovechamiento y manejo del maguey alto en el Estado de Michoacán, aportes para encaminar su sustentabilidad. In S. Martínez-Palacios, A.; Morales-García, J. L. y Guillen-Rodríguez (Ed.), *Aspectos sobre manejo y conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán* (pp. 153–163). SAGARPA, COFUPRO. https://www.researchgate.net/profile/Ignacio_Torres-Garcia/publication/280091738_Distribucion_aprovechamiento_y_manejo_del_maguey_alto_en_el_estado_de_Michoacan_aportes_para_encaminar_su_sustentabilidad/links/56d2082e08ae4d8d64a5f199.pdf
- Uribe-Botero, E. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas. Unión europea. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39855-cambio-climatico-sus-efectos-la-biodiversidad-america-latina>
- Valenzuela-Zapata, A. G., & Sarita-Gaytan, M. (2012). Sustaining Biological and Cultural Diversity: geographic indications and traditional mezcal production in Jalisco, Mexico. *Revue d'ethnoécologie*, 1–20. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.990>
- Vega-Vera, N. V., & Pérez-Akaki, P. (2017). Oaxaca y sus regiones productoras de mezcal: Un análisis desde cadenas globales de valor. *Prospectivas Rurales. Nueva Época*, 29, 103–132. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/perspectivasrurales/article/view/9286/11001>
- Zhang, K., Yao, L., Meng, J., & Tao, J. (2018). Science of the Total Environment Maxent modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. *Science of the Total Environment*, 634, 1326–1334. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>

CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ACEITES EN ÁRBOLES SILVESTRES Y PLANTAS JÓVENES DE *Bursera glabrifolia* (Kunth)-Engel

CHARACTERIZATION AND QUANTIFICATION OF OILS IN WILD TREES AND YOUNG PLANTS OF *Bursera glabrifolia* (Kunth)-Engel

§José Raymundo Enríquez del Valle[✉], Gerardo Rodríguez-Ortiz[✉], Bartolomé Jarquín Ríos[✉], Gisela Virginia Campos Ángeles[✉]

Tecnológico Nacional de México, Campus Valle de Oaxaca (ITVO). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. §Autor de correspondencia: (jose.ev@voaxaca.tecnm.mx)

RESUMEN

En el estado de Oaxaca, México, los árboles de *Bursera glabrifolia* se usan de cercos vivos y retenedores de suelo. La madera se usa para elaborar artesanías y las partes vegetativas tienen uso medicinal. Actualmente, la elaboración de artesanías depende del abastecimiento de materia prima de poblaciones silvestres de *B. glabrifolia*. Gran parte del material es desechado, como hojas, ramillas, ramas y corteza. El objetivo del presente estudio fue extraer y caracterizar aceites (AE), en hojas y corteza de árboles jóvenes en vivero y en árboles silvestres cuantificar el rendimiento de aceites en campo. Durante 2015 en la comunidad de Santo Tomas Jalieza, Oaxaca, se tomaron datos de altura, diámetro del tallo y volumen a 70 árboles. Muestras de hojas y corteza fueron colectadas de árboles silvestres, puestas en bolsas de polietileno y en hielera, para su transporte a laboratorio, donde las muestras se pesaron y sometieron a hidrodestilación con aparatos tipo Clavenger y posteriormente fueron analizadas por GC-MS. Se obtuvo el 0.0869 % y el 0.16199 % de AE para hojas y corteza, respectivamente. Los principales componentes de los AE en hojas fueron: Bicyclo [3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-2-metileno-(IS)- (17.18 %), beta-Pineno (17.166 %), alfa-felandreno y IR-alfa -Pineno (16.6 %). De los AE en corteza fueron: alfa-Pineno (25.974 %) y Bicyclo[3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-2-metileno- (IS)- (12.329 %). Los 70 árboles en campo tienen volumen de corteza total de 0.26 m³ y generan un contenido de aceite de 0.388 kg. Los componentes de AE identificados pueden tener uso y aplicaciones.

Palabras clave: *Bursera glabrifolia*, aceites esenciales, caracterización de aceites, rendimiento de aceites, extracción de aceites.

ABSTRACT

In Oaxaca State the *Bursera glabrifolia* plants are used as green fences and soil conservation. The wood is used to make crafts, and vegetative parts have medicinal use. Currently, the elaboration of handicrafts depends on the supply of raw material from wild populations of *Bursera glabrifolia*, carried out in an unplanned manner. Much of the material is discarded, such as leaves, twigs, branches and bark. The objective of this work was to extract and characterize essential oils (EO), in leaves and bark of trees and to quantify the yield in the field. In 2015 in the community of Santo Tomas Jalieza, Oaxaca, data of height, stem diameter and volume from 70 wild trees were took. Leaves and bark samples were collected, placed in polythene bags and cooled. These samples were weighed and subjected to hydrodistillation with Clavenger type apparatus and then analyzed by GC-MS. The 0.0869 % and 0.16199 % of leaves and bark were EO. The main components of the EO in leaves: Bicyclo [3.1.1] heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (IS) - (17.18 %), beta-Pinene (17,166 %), alpha-phellandrène and IR-.alpha.-Pinene (16.6 %). The EO in bark were: .alpha.-Pinene (25: 974 %) and Bicyclo [3.1.1] heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (IS) - (12.329 %). The 70 trees in field had a total volume of 0.26 m³ bark and generate a content of 0.388 kg of essential oil.

Search the essential oil application is recommended.

Index words: *Bursera glabrifolia*, essential oils, oils characterization, oils yield, oils extraction.

INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Bursera* son características de las selvas bajas caducifolias y ecosistemas áridos (Rzedowski, Medina & Calderón, 2005), con extensa distribución en México. La mayor cantidad de especies de este género se encuentran en territorios de Oaxaca, Puebla, Chiapas y Guerrero (Rzedowski y Calderón, 2000, 2009), particularmente en la cuenca del río Balsas, cuenca del río Papaloapan, Valle de Tehuacán – Cuicatlán (De La Cerda, 2011). En el estado de Campeche, *Bursera simaruba* es una especie dominante en la selva baja caducifolia y selva baja subcaducifolia (Dzib-Castillo, Chantásig-Vaca & González-Valdivia, 2014), y se les da un amplio uso en las comunidades rurales oaxaqueñas (Victoria, 2012), los cuales generan ingresos para los comuneros artesanos (Torres, Ruiz & Ramos, 2013). Las actividades antrópicas ponen en riesgo la población silvestre existente (García-Estrada, Peña-Sánchez y Colín-Martínez, 2015; Rivas-Arancibia et al., 2015) y se considera necesario diseñar e implementar planes de manejo de las poblaciones naturales, reforestaciones y plantaciones.

Los árboles del género *Bursera* producen resinas aromáticas, con uso potencial como antibacteriano, antifúngico, antioxidante y antiinflamatorio (Hernández, et. al., 2015). Los aceites esenciales (AE) son mezclas de compuestos que pertenecen a la familia de los terpenos y sesquiterpenos y las resinas son obtenidas mediante la incisión a los árboles o mediante la destilación de esencias hasta lograr una sustancia espesa, las cuales son un complejo de glúcidos, ácidos orgánicos, esteroides, alcoholes y esencias terpénicas. Los AE obtenidos de *B. simaruba* (L.) Sarg. poseen características para su potencial uso como aditivo para la conservación de alimentos o

poseer efectos anti inflamatorios (Carretero et al., 2008). Los AE que se obtienen de *B. graveolens* Triana & Planch han mostrado efectos antimicrobianos (Lujan-Hidalgo et al., 2012), los obtenidos de *B. copallifera* (D. C.) Bullock y *B. grandifolia* (Schltdl.) muestran actividad bioinsecticida (Aldana, Salinas, Valdés, Gutiérrez y Valladores et al., 2010), los de *Bursera morelensis* Ramírez muestran propiedades antibacterianas (Hernández et al., 2015), los obtenidos de *B. aleoxylon* muestran propiedades antifúngica, antiinflamatoria y antioxidante (Queiroga, Teixeira, Baesa y de Magalhães, 2007).

Los AE de otras especies como es el caso de *Schinus molle* L. se les ha encontrado aplicación sobre el control de piojos (Gutierrez, Stefanazzi, Werdin, Benzi y Ferrero, 2009). Bedini et al. (2016), usaron AE de *Cannabis sativa* L. en el control biológico de mosquito, Sánchez et al. (2011), encontraron efectos antimicrobianos y antifúngicos en *Piper marginatum* Jacq. y que podrían tener amplias aplicaciones en las actividades agrícolas, idea que Baubaker et al. (2016), a partir de datos derivados de experimentos con aceite de Timo. Nolzco, Téllez & Ccapa (2015), han encontrado que los AE de orégano funcionan como conservador del aceite de oliva; Zantar et al. (2015) encontraron en *Thymus vulgaris* L. y *Mentha pulegium* JLF propiedades antioxidantes, citotóxicas, antifúngica, antiparasitaria y antibacterial en *Lippia alba* (Mill) N. E. Brown, *Lippia origanoides* H. V. K. y *Phyla dulcis* Trev. (Celis, Escobar, Izasa, Stashenko & Martínez, 2007). Castañeda, Muñoz Stashenko (2007) mencionan que sustancias obtenidas de *lippias* y otras plantas aromáticas colombianas poseen características que serían de gran utilidad para las industrias de aromatizantes, jabones, artículos de limpieza, perfumería, alimentos y química.

En especies de *Bursera* estudiadas por Moreno, Rojas, Aparicio, Marco, y Usabillaga (2010), los principales AE que reportan en la corteza de *B. tomentosa* (Jacq). Triana y Planch. son spatulenol (11.4 %), globulol (8.9 %), epi - cadinol (8.8 %)

y cis-ocimeno (7.3 %). Otros compuestos identificados fueron bicyclogermacrene (6.6 %), I-nonano (6.4 %) y β -selineno (3.9 %). Por su parte Muñoz-Acevedo et al.(2013), que en hojas, encontraron AE tales como: germacreno D (20.7 %), trans--cariofileno (18.0 %), viridiflorol (8.0%), limoneno (6.6 %), linalol (6.5 %) y dendrolasina (5.3 %), en ramas: mentofuranona (43.9 %), iso-mentofuranona (6.8 %), 3-hidroxi-mentofuranona (6.2 %). Por otro lado, los análisis en la corteza del tallo reportan: mentofuranona (44.6 %), 3-hidroxi-mentofuranona (16.2 %), iso-mentofuranona 4. Así mismo Lujan-Hidalgo et al. (2012), en hojas de la misma especie determinaron que contienen: limoneno (42.90 %), β -ocimeno (17.39 %), β -elemeno (11.82 %), mentofuran (6.79 %). Leyva, Martínez & Stashenko (2007), en hojas de la misma especie, detectaron los AE: limoneno (48.3 %), óxido de cariofileno (13.6 %) y trans-cariofileno (8.1 %); y en tallo se encontraron limoneno (42.1 %), mirceno (19.8 %) y mentofurano (14.7 %).

En una misma especie, los órganos vegetales muestran variación en los contenidos y composición relativos de AE según su estado de desarrollo y debido a condiciones de crecimiento (Tangarife-Castro et al., 2011; Butcher, Doran y Slee, 1994). Las plantas medicinales y aromáticas representan una alternativa de uso en la industria farmacológica y de control biológico, por lo tanto, para poder emitir juicios del uso potencial de los AE de *B. glabrifolia*, es necesario describir los principales componentes tanto en hojas como en corteza y de ahí partir a posibles aplicaciones (Quiroz y Magaña, 2015). En las comunidades oaxaqueñas en que se usa la madera para elaborar artesanías no usan la corteza, hojas y ramas del árbol, las que podrían ser aprovechados para la extracción de resinas que contienen aceites. En agroindustrias de frutas de Colombia, Yepes, Montoya y Orozco (2008) proponen usar residuos de frutas para la extracción de aceites esenciales. Rojas, Perea y Stashenko (2009), Navarrete, Gil, Durango y García (2010) y Cerón-Salazar y Cardona-Alzate (2011), demostraron que el aprovechamiento de los residuos de

industrialización de cítricos es posible obtener AE y pectinas, mismos que tienen una importante demanda en la industria de alimentos, farmacéutica y de cosméticos. Los residuos de copal blanco representan un recurso no aprovechado y que es necesario indagar sobre las aplicaciones potenciales de estos, por ello el objetivo del presente estudio fue extraer y caracterizar aceites (AE), en hojas y corteza de árboles jóvenes en vivero y en árboles silvestres cuantificar el rendimiento de aceites en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción y caracterización de aceites

El presente trabajo se llevó a cabo durante los meses de febrero a junio de 2016, en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, Unidad de Biotecnología y Prototipos, UBIPRO, de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, durante el periodo de marzo a julio del 2015 se propagaron plantas de *B. glabrifolia* mediante enraizado de estacas en condiciones de invernadero. Cuando transcurrieron 60 días y las estacas habían formado raíces, se extrajeron del sustrato y fueron puestas individualmente en contenedores de polietileno con 6 dm³ de sustrato; y se establecieron en vivero en donde recibieron un riego a la semana. De estas plantas se obtuvieron muestras de hojas y ramillas, para la extracción de aceites esenciales. También se obtuvieron muestras de corteza de árboles silvestres en la comunidad de Santo Tomás Jalieza, Ocotlán, Oaxaca (16 50' y 16° 55'N, 96 40' y 96 35' O, a una altitud de 1510 m).

El material vegetal se colocó en bolsas de polietileno transparente y en hielera para evitar la deshidratación de las mismas y se trasladaron al laboratorio UBIPRO. El material vegetal se pesó mediante balanza granataria con precisión de 0.1 mg, posteriormente se seccionó en fragmentos pequeños y se colocó en un matraz de bola de cuello esmerilado con capacidad de 1 L, esto con

la finalidad de conocer el rendimiento por unidad de peso de la muestra. El contenido se calentó hasta ebullición en una parrilla eléctrica marca Thermo Scientific Cimarec, modelo HP131225. El destilado se condensó en un condensador espiral. El aceite que se obtuvo fue colocado en tubo de ensayo para pesarlo en una balanza analítica. AND HR-300 de 0.1 mg-310 g, con micro pipetas graduadas de 2.5 µL.

Los AE se caracterizaron mediante cromatografía de gases (modelo 6850 Agilent Technologies) acoplado a un espectrofotómetro de masas (5975C Agilent Technologies) con columna capilar (HP-5MS de 30 m con un diámetro de 250 µm, 0.25 µm de película). La temperatura inicial de la columna fue 70 °C durante 21 min, en el proceso de volatilización alcanzó hasta los 290 °C. El gas acarreador fue Helio con flujo constante de 1.2 mL/min.

Estimación del contenido de AE en la corteza de árboles en pie

En los predios de la comunidad de Santo Tomas Jalieza se seleccionaron al azar 70 árboles a cada uno de los cuales se midió el diámetro de la base del árbol (cm) mediante cinta diamétrica, la altura (m) se midió con flexómetro de 5 m, trepando al árbol y haciendo la medición desde la base hasta el ápice del árbol, el diámetro o ancho de copa (m) se midió con flexómetro graduado a 5 m, ubicándose en las puntas de las ramas laterales de un extremo a otro del árbol. Se midieron todos los segmentos del árbol a partir de la base, midiendo el diámetro basal y el diámetro a la primera bifurcación y la longitud de esta troza del árbol, así sucesivamente a todas las fracciones del árbol, desde la primera bifurcación hasta las yemas apicales. En las ramas delgadas y ramillas se midió diámetro mediante un vernier graduado marca Pretul® con capacidad de 6 cm. También se midió con vernier graduado el grosor de la corteza de los árboles, con el fin de obtener el volumen de la corteza y estimar el volumen de madera con y sin corteza. Se obtuvo el volumen de los segmentos mediante la fórmula de Smalian.

$$Vol = \left(\left((0.7854 * \frac{D1}{100})^2 \oplus (0.7854 * \frac{D2}{100})^2 \right) \div 2 \right) * Long$$

Vol: volumen total (m³) 0.7854: factor obtenido de $\pi/4$, D1: diámetro inicial de la sección o troza del árbol (m), D2: diámetro final de la sección o troza del árbol (m) y Long: longitud de la sección o troza del árbol (m).

La cantidad de aceite se calculó como rendimiento en porcentaje también con la fórmula siguiente: $R = \frac{MFA}{MIM} * 100$

Donde: MFA: Masa final de aceite extraído (g) y MIM: masa inicial de muestra del tejido vegetal (g).

Análisis de datos

Se les obtuvo promedio y desviación estándar del peso de la muestra y del rendimiento de AE en las muestras analizadas en corteza y hojas. Con el rendimiento obtenido en las muestras, se extrapoló el contenido de aceites a árboles en pie, tomando como muestra un peso y volumen de corteza conocidos. Se analizó el efecto de la categoría diamétrica basal, de altura y del área de copa sobre el rendimiento del contenido de aceites, utilizando la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis ($\alpha = 0.05$) mediante el programa estadístico SAS® 9.0 para conocer la influencia de éstas sobre el rendimiento y contenido de aceites.

RESULTADOS

Rendimientos en muestra de corteza y hojas

Las muestras foliares y corteza que se sometieron a hidrodestilación presentan variaciones en cuanto a sus rendimientos de aceites esenciales, atribuidos probablemente a la concentración de las mismas en las etapas de desarrollo del árbol. En las diversas muestras de corteza sus promedios no varían mucho y por lo tanto en el rendimiento; sin embargo, los contenidos de AE en las hojas y ramillas presenta mayor desviación estándar (DE = 0.49) (Tabla I).

Tabla 1. Rendimientos de aceites esenciales obtenidos de corteza de árboles silvestres y hojas de árboles jóvenes en vivero de *Bursera glabrifolia*.

No.	Muestra	Corteza				Hojas y ramillas herbáceas			
		Rendimiento de aceite en muestra				Rendimiento de aceite en muestra			
	(g)	(g)	(g kg ⁻¹)	(%)	(g)	(g)	(g kg ⁻¹)	(%)	
1	237.86	0.13	0.55	55	181.9	0.17	0.96	0.09	
2	228	0.16	0.69	69	144.5	0.28	1.93	0.19	
3	230	0.22	0.94	94	135.6	0.25	1.85	0.18	
4	226.3	0.3	1.32	132	116.5	0.23	2.01	0.20	
Media	230.54	0.2	0.87	72.67	144.63	0.23	1.69	0.16	
DE	5.11	0.07	0.34	28.91	27.46	0.04	0.49	0.02	

DE = desviación estándar.

Los árboles muestreados en campo presentaron en promedio 3.27 m de altura, 16.72 cm de diámetro basal, área basal de 0.038 m², diámetro de copa de 3.08 m y área de copa de 9.3 m². El total de 70 árboles generaron un volumen total de 10.32 m³ de madera, un volumen sin corteza de 10.060 m³ y un volumen de corteza de 0.26 m³; en este sentido el total de la corteza genera 0.388 kg de AE. Mediante la prueba de Kruskal Wallis ($\alpha=$

0.05) se encontraron diferencias significativas en cuanto al rendimiento, el cual depende ampliamente de las características del arbolado como el diámetro basal (0.0002), altura total (0.0001) y área de copa (0.0001). Se encontró que el diámetro, altura total y el área de copa presentan una mayor variabilidad en los rangos de valores menores, lo que hace suponer que cuando un árbol tiene mayor diámetro basal, altura y área de copa, tiene mayor contenido de AE (**Tabla 2**).

Tabla 2. Estadísticos básicos para categorías diámetro basal, altura total y área de copa en árboles silvestres de *Bursera glabrifolia*.

Variable	Rangos	Media	Desviación estándar
Diámetro basal (cm)	≤21	19.22	0.876
	>21 ≤41	40.7	0.270
	>41	54	0.587
Altura (m)	≤2.5	1.937	0.898
	>2.5 ≤3.8	3.744	0.903
	>3.8 ≤5.1	5.014	0.260
	>5.1	5.257	0.714
Área de copa (m ²)	≤12	2.752	0.854
	>12 ≤24	17.33	0.801
	>24	27.6	0.662

Por otro lado, usando las muestras foliares y ramillas de plantas propagadas por estacas, en un 1 kg de hojas podría obtenerse 0.87 g de aceite esencial. Del total de AE obtenidos de la corteza, el 25.974 % corresponde a α -Pineno, el 12.329% es Bicyclo[3.1.1]heptano, 6,6-dimethyl-2-methyleno-, (IS)- y 1.836 % correspondió a Copaeno, característico de los contenidos en AE de este género (Tabla 3). Las hojas muestran

diferente concentración de los compuestos en sus AE, siendo más abundante el Bicyclo[3.1.1]heptano, 6,6-dimethyl-2-methyleno-, (IS)- con 17.18 % del contenido, seguido por β -Pineno con 17.166 %, los compuestos α -Phellandreno y IR- α -Pineno con valores de 16.6 %; el Copaeno que es característico de las especies de *Bursera* tiene una concentración de tan solo 1.084 % (Tabla 4).

Tabla 3. Contenido de aceites esenciales en muestras de corteza de *Bursera glabrifolia*.

Nº	Compuesto	C (%)	M (%)
1	α -Pineno	95	25.974
2	Bicyclo [3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-2-metilen-, (IS)-	97	12.329
3	1,7,7-trimetil-bicyclo[2.2.1]heptil-2-ester	99	9.380
4	Benzaldehido, 4-(1-metiletil)-	98	6.607
5	Acetato de Bornilo	99	6.168
6	β -felandreno	91	4.230
7	1,4-Ciclohexadien, 1-metil-4-isopropil	94	3.514
8	1-metil-2-isopropil benceno	91	3.144
9	D-Limoneno	94	2.643
10	Bicyclo[3.1.0]hex-2-eno, 4-metil-1-isopropil	91	2.506
11	Camfeno	97	2.230
12	1,6-Ciclododecadieno, 1-metil-5-metilene-8-isopropilo	96	2.153
13	Limoneno	94	2.114
14	IR- α -Pineno	95	1.917
15	Copaeno	99	1.836

C: Porcentaje de confiabilidad de compuestos, M: Porcentaje total en la masa.

Tabla 4. Contenido de aceites esenciales en muestras de hojas y ramillas de *Bursera glabrifolia*.

Nº	Compuesto	C (%)	M (%)
1	Bicyclo[3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-2-metilenoleno	97	17.18
2	β -Pineno	94	17.166
3	α -felandreno	92	16.692
4	IR- α -Pineno	95	16.603
5	1,6-Ciclododecadieno, 1-metil-5-metilen-8-isopropil	97	21.452
6	Limoneno	94	3.000
7	Ciclohexano, 1-metil-4-isopropil	94	2.819
8	Caryofileno	99	2.481
9	Copaeno	99	1.084

C: Porcentaje de confiabilidad de compuestos, M: Porcentaje total en la masa.

DISCUSIÓN

Las muestras de hojas y corteza de copal blanco (*B. glabrifolia*) variaron notablemente en sus contenidos de aceites esenciales extraídos, ya que los componentes del árbol varían en contenido concentración y tipo de los componentes de AE en relación a las etapas de desarrollo y calidad de sitio (Tangarife-Castro et al., 2011). Los rendimientos promedio en hojas fueron de 0.086 % por muestra de 230.25 g. Y el rendimiento en corteza fue de 0.16198 % por muestra de 144.62 g. Resultados son comparables con Leyva et al. (2007), quienes en *B. graveolens* usaron hidrodestilación asistida aplicada a muestras de aproximadamente 100 g y obtuvieron que el 0.13 % y 0.14 % del peso de hojas y tallos correspondió a AE, respectivamente. De acuerdo con Cerón-Salazar y Cardona-Alzate (2011), el caso de aprovechamiento de residuos cítricos de una muestra de un kilogramo de cáscara se obtuvo 10 mL de aceite esencial en 4.5 horas. Rojas et al. (2009), quienes de diferentes cítricos obtuvieron rendimientos, en pomelo de 0.23 %, toronja de 0.07 %, naranja de 0.19 y mandarina entre 0.06 y 0.14 %, usando hidrodestilación asistida por microondas. Navarrete et al. (2010), usando arrastre de vapor de agua, en *Citrus medica* obtuvieron 0.24 % de aceites esenciales y *Paphiopedilum. callosun* 0.30 % usando 5 kg de muestra vegetal.

En el presente experimento se requirieron hasta 12 h para la extracción aplicando el procedimiento de hidrodestilación, mientras que Gavahian, Farhoosh, Javidnia, Shahidi y Farahnaky (2015), en extracción de AE de *Mentha piperita* L. mencionan que sus tiempos fueron de 13.54 y 19.71 minutos usando hidrodestilación asistida por óhmica (OAHD), procedimiento que no perjudica el contenido de los aceites. Sayadeh, Abdollah y Mohammad (2015) evaluaron diferentes métodos de extracción de AE en *Satureja bachtiarica* Bunge. en los que varía el rendimiento y en otras la composición de los componentes, sus muestras fueron de 100 g y sus rendimientos variables entre 0.01 a 1.4 g de AE.

De los aceites extraídos de hojas, y que se analizaron mediante cromatógrafo de gases acoplado a un espectrofotómetro de masas, se identificó un total de 42 compuestos. De los principales componentes no fue posible encontrar similitudes en especies del género *Bursera*, sin embargo, en *B. graveolens*, Moreno et al. (2010), reportan biciclogermacrene y α -cadinol en aceite. Muñoz-Acevedo et al. (2013), en frutos, ramas y resina encontraron la presencia de limoneno, mientras que en hojas hubo germacreno. En *B. graveolens* Lujan-Hidalgo et al. (2012), en hojas encontraron limoneno, copaeno, y α -pineno, beta-pinenos. Leyva et al. (2007), en hojas de *B. graveolens* encontraron altos contenidos de caryophyllene oxide. Evans y Becerra (2006), en *B. chemapodicta* encontraron solo a caryophyllene como componente similar en aceites de hojas y ramillas.

En la agroindustria colombiana en que se generan residuos de cítricos, tales como cáscaras de naranja, se busca el aprovechamiento de dichos residuos de los que es posible extraer limoneno y α -pineno, que son los principales componentes de los AE (Cerón-Salazar y Cardona-Alzate, 2011); por otra parte Navarrete et al. (2010), encontraron en los AE de residuos de mandarina α -pineno, beta-pinenos y limoneno, similares en otros cítricos (mandarina, toronja, naranja y pomelo) Rojas et al. (2009). Bedini et al. (2016), en *Cannabis sativa* y *Humulus lupulus* encontraron (α -pineno, camfeno, beta-pinenos, α -pellandreno, limoneno, óxido de cariofileno, α -cadinol entre otros) los cuales son usados como agentes naturales de control biológico.

De las plantas de *Bursera* analizadas que actualmente se usan para elaborar artesanías, los compuestos que contienen es posible su uso en medicina (Castañeda et al., 2007), que se considera una oportunidad productiva que se complementa a la industria artesanal (Moreno et al., 2010).

CONCLUSIONES

El 0.086 % y 0.16198 % del peso de muestras de hojas-ramillas herbáceas y corteza de *Bursera glabrifolia*, correspondió a aceites esenciales que representan una alternativa de aprovechamiento de la especie, ya que actualmente gran parte del material vegetal de desecho por los artesanos. Los principales aceites esenciales encontrados en material foliar y ramillas fueron Bicycl [3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-1-2-metileno-(IS)- (17.18 %), β -Pineno (17.16 %) y α -felandreno (16.6 %) que en total representaron el 51.18 % de los aceites, en la corteza se obtuvieron α -Pineno (25.9 %), Bicyclo[3.1.1]heptano, 6,6-dimetil-2-metileno- (IS) (12.32 %) y 1,7,7-trimetil-bicyclo[2.2.1]heptil-2 éster (9.3 %) que representaron el 47.52 % de los aceites obtenidos. Por lo que la minuciosa búsqueda de la aplicación de cada componente de los aceites esenciales representaría una oportunidad en el mercado.

REFERENCIAS

- Aldana, L. Ll., Salinas, D.O.S., Valdés, M.E.E., Gutiérrez, M.O. & Valladores, M.G.C. (2010). Evaluación bioinsecticida de extractos de *Bursera copallifera* (D.C.) bullock y *Bursera grandifolia* (SCHLTDL.) Engl. en gusano cogollero Spodoptera frugiperda J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Polibotánica*, 29, 149-158.
<https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/805/1027>
- Baubaker, H., Karim, H., El Hamdaoui, A., Msanda, F., Leach, D., Bombarda, I., Vanloot, P., Abbad, A., Boudyach, E. H. and Ait Aoumar B.A. (2016). Chemical characterization and antifungal activities of four *Thymus* species essential oils against postharvest fungal pathogens of citrus. *Industrial Crops and Products*, 86, 95–101.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.036>
- Bedini, S., Flamini, G., Cosci, F., Ascrizzi, R., Benelli, G. and Barbara, C. (2016). *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus* essential oils as novel control tools against the invasive mosquito *Aedes albopictus* and fresh watersnail *Physella acuta*. *Industrial Crops and Products*, 85, 318–323.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.008>
- Butcher, P. A., Doran, J. C. and Slee, M.U. (1994). Intraspecific variation in leaf oils of *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 22 (4), 419-430.
[https://doi.org/10.1016/0305-1978\(94\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0305-1978(94)90033-7)
- Carretero, M. E., López-Pérez, J.L., Abad, M.J., Bermejo, P., Tillet, S. and Noguera-P.B. (2008). Preliminary study of the anti-inflammatory activity of hexane extract and fractions from *Bursera simaruba* (Linneo) Sarg. (Burseraceae) leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, 116(1), 11–15.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.10.034>
- Castañeda, M. L., Muñoz, A. & Stashenko, E.E. (2007). Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas Colombianas. *Scientia et Technica*, 33, 165-166.
<https://doi.org/10.22517/23447214.5845>
- Celis, C.N., Escobar, R.P., Izasa, J.H., Stashenko, E. & Martínez, J.R. (2007). Estudio comparativo de la composición y actividad biológica de los aceites esenciales extraídos de *Lippia alba*, *Lippia origanoides* y *Phyla dulcis*, especies de la familia Verbenaceae. *Scientia et Technica*, 33, 103-105.
<https://doi.org/10.22517/23447214.6131>
- Cerón-Salazar, I. & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65-86.
<https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/401/401>
- De La Cerda, L.M.E. (2011). La familia Burseraceae en el estado de Aguascalientes, México. *Acta Botánica Mexicana*, 94, 1-25.
<https://abm.ojs.inacol.mx/index.php/abm/article/view/269/399>

- Dzib-Castillo, B., Chantásig-Vaca, C. & González-Valdivia, N.A. (2014). Estructura y composición en dos comunidades arbóreas de la selva baja caducifolia y mediana subcaducifolia en Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 167-178. <https://doi.org/10.7550/rmb.38706>
- Evans, P.H. and Becerra J.X. (2006). Non-terpenoid essential oils from *Bursera chemapodicta*. *Flavour and Fragrance Journal*, 21, 616-618. <https://doi.org/10.1002/ffj.1626>
- García-Estrada, C., Peña-Sánchez, A.Y. & Colín-Martínez, H. (2015). Diversidad de mamíferos pequeños en dos sitios con diferente grado de alteración en la Sierra Sur, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 1014-1023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.011>
- Gavahian, M., Farhoosh, R., Javidnia, K., Shahidi, F. and Farahnaky, A. (2015). Effect of applied voltage and frequency on extraction parameters and extracted essential oils from *Mentha piperita* by ohmic assisted hydrodistillation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.02.003>
- Gutierrez, M. M., Stefanazzi, N., Werdin, J.O.G., Benzi, V. & Ferrero, A.A. (2009). Actividad fumigante de aceites esenciales de *Schinus molle* (Anacardiaceae) y *Tagetes terniflora* (Asteraceae) sobre adultos de *Pediculus humanus capitis* (Insecta; Anoplura; Pediculidae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(3), 176-179. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85611774012>
- Hernández, T., García-Bores, A.M., Serrano, R., Ávila, G., Dávila, P., Cervantes, H., Peñalosa, I., Flores-Ortiz, C.M. & Lira, R. (2015). Fitoquímica y actividades biológicas de plantas de importancia en la medicina tradicional del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(2), 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.09.003>
- Leyva, M. A., Martínez, J.R. & Stashenco, E.E. (2007). Composición química del aceite esencial de hojas y tallos de *Bursera graveolens* (Burseraceae) de Colombia. *Scientia et Technica*, 33, 201-202. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revista-ciencia/article/view/6099/3273>
- Lujan-Hidalgo, M. C., Gutierrez-Miceli, F. A., Ventura-Canseco, L. M. C., Denooen, L., Mendoza-López, M. R., Cruz-Sánchez, S., Garcia-Barradas, O. & Abud-Archila, M. (2012). Composición química y actividad antimicrobiana de los aceites esenciales de hojas de *Bursera graveolens* y *Taxodium mucronatum* de Chiapas, México. *Gayana Botánica*, 69, 7-14. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v30i1.33758>
- Moreno, J., Rojas, L.B., Aparicio, R., Marco, L.M. and Usubillaga, A. (2010). Chemical composition of the essential oil from the bark *Bursera tomentosa* (Jacq) Tr & Planch. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 9(6), 491- 494. <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfR ed.jsp?iCve=85615688010>
- Muñoz-Acevedo, A., Serrano-Urbe, A., Parra-Navas, X.J., Olivares-Escobar, L.A. & Niño-Porras, M.E. (2013). Análisis multivariable y variabilidad química de los metabolitos volátiles presentes en las partes aéreas y la resina de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch. de Soledad (Atlántico, Colombia). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 12(3), 322-337. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85626383008>
- Navarrete, C., Gil, J., Durango, D. & García, C. (2010). Caracterización y extracción de aceites esenciales de mandarina obtenido de residuos agroindustriales. *Dyna*, 77 (162), 85-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7678229>

- Nolazco, C.D., Téllez, M.L. & Ccapa, R.K. (2015). Influencia de la concentración de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) en el tiempo de vida en anaquel del aceite de oliva (*Olea europea*) extravirgen. *Ingeniería Industrial*, 33, 251-263. <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337443854011.pdf>
- Queiroga, C. L., Teixeira, D.M.C., Baesa, R.B. and de Magalhães P.M. (2007). Linalool production from the leaves of *Bursera aloexylon* and its antimicrobial activity. *Fitoterapia*, 78(4), 327-328. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2007.03.012>
- Quiroz, C.J.A. & Magaña, M.A.A. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera y Bosques*, 21(3), 171-183. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n3/v21n3a13.pdf>
- Rivas-Arancibia, S.P., Bello-Cervantes, E., Carrillo-Ruiz, H., Andrés-Hernández, A. R., Figueroa-Castro, D.M. & Guzmán-Jiménez, S. (2015). Variaciones de la comunidad de visitantes florales de *Bursera copallifera* (Burseraceae) a lo largo de un gradiente de perturbación antropogénica. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 178-187. <https://doi.org/10.7550/rmb.44620>
- Rojas, L.J.P., Perea, V.A. & Stashenko, A.E. (2009). Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos. *Vitae, Revista de la facultad de Química Farmacéutica*, 16(1), 110-115. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v16n1/v16n1a13.pdf>
- Rzedowski, J. & Calderón G. (2000). Una nueva especie de *Bursera* (Burseraceae) del estado de Oaxaca (México). *Acta Botánica Mexicana*, 52, 75-81. <https://doi.org/10.21829/abm52.2000.857>
- Rzedowski, J. & Calderón, G. (2009). Nota sobre *Bursera heteresthes* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*, 88, 81-93. <https://www.scielo.org.mx/pdf/abm/n88/n88a7.pdf>
- Rzedowski, J., Medina, L. R. & Calderón, G. (2005). Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la diversidad y del endemismo regional de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana*, 70, 85-111. <https://doi.org/10.21829/abm70.2005.989>
- Sánchez, Y., Correa, T. M., Abreu, Y., Martínez, B., Duarte, Y. & Pino, O. (2011). Caracterización química y actividad antimicrobiana del aceite esencial de *Piper marginatum* Jacq. *Rev. Protección Veg.*, 26(3), 170-176. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v26n3/rpv06311.pdf>
- Sayadeh, M. M., Abdollah, G. P. and Mohammad, A. (2015). Chemical composition and yield of essential oils from Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) under different extraction methods. *Industrial Crops and Products*, 76, 809-816. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.068>
- Tangarife-Castro, V., Correa-Royero, J., Zapata-Lodoño, B., Duran, C., Stanshenko, E. and Mesa-Arango, A.C. (2011). Anti-*Candida albicans* activity, cytotoxicity and interaction with antifungal drugs of essential oils and extracts from aromatic and medicinal plants. *Infectio*, 15(2), 160-167. [https://doi.org/10.1016/S0123-9392\(11\)70080-7](https://doi.org/10.1016/S0123-9392(11)70080-7)
- Torres, C.Y., Ruiz, M.A. & Ramos, A.L. (2013). Cadena de valor en la producción de los alebrijes y su relación con el desarrollo local en dos localidades del estado de Oaxaca. México. *Revista OIDLES*, 7(15), 30. <https://www.eumed.net/rev/oidles/15/cadena-valor.html>
- Victoria, L.N. (2012). Objects made of copal resin: a radiological analysis. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 207-213. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v64n2/v64n2a6.pdf>
- Yepes, S.M., Montoya, N.L.J. & Orozco, S.F. (2008). Valorización de residuos

agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr.*, 61(1), 4422-4431.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a18v61n1.pdf>

Zantar S., Haouzi, R., Chabbi, M., Laglaoui, A., Mouhib, M., Mohammed, B., Bakkali, M. and Zerrouk, M.H. (2015). Effect of gamma irradiation on chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Thymus vulgaris* and *Mentha pulegium* Essential oils. *Radiation Physics and Chemistry*, 115, 6-11.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.019>.

EMPRENDIMIENTO SOCIAL Y BIENESTAR NUTRICIONAL, PRODUCTORES DE AMARANTO EN VALLES CENTRALES Y SIERRA SUR, OAXACA

SOCIAL ENTREPRENEURSHIP AND NUTRITIONAL WELL-BEING, AMARANTH PRODUCERS IN THE CENTRAL VALLEYS AND SIERRA SUR, OAXACA

¹Beatriz Rebeca Hernández Hernández , ¹Gisela Margarita Santiago Martínez , ¹Ernesto Castañeda Hidalgo , ¹Salvador Lozano Trejo , ²Andrés E. Miguel Velasco , ³Juan Regino Maldonado 

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca ITVO, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. ²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Oaxaca ITO. Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico. ³Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Calle Hornos 1003. Santa Cruz Xoxocotlán. [§]Autor de correspondencia: (beatrizrebecahernandez@gmail.com).

RESUMEN

El *Amaranthus* es un pseudocereal con alto valor nutricional usado principalmente para el consumo humano y en los últimos años se ha creado un fuerte interés en el cultivo debido a su potencial técnico agronómico y características nutritivas. La investigación tiene por objetivo describir las actividades de emprendimiento social que realizan los productores de amaranto para contribuir en el bienestar nutricional de sus familias y las comunidades de estudio. Se utilizó la metodología cualitativa y descriptiva, la obtención de datos primarios fue a partir de aplicar entrevistas 37 productores de la empresa social rural (ESR) Centéotl A.C. para establecer un impacto positivo se identificó la frecuencia de respuestas positivas mayores del 50 % por medio del análisis en el paquete estadístico SPSS v. 25. Dentro de los resultados obtenidos se observa que los productores adquieren capacidades de emprendimiento por parte de la ESR para fomentar la producción, consumo y venta, derivado de ello adoptan el cultivo como actividad complementaria en primer lugar cubren sus necesidades nutricionales y ayudan a mantener la salud de los productores debido a su valor nutricional y el excedente lo venden.

Palabras clave: Economía social y solidaria, creación de valor social, seguridad alimentaria.

ABSTRACT

Amaranthus is a pseudocereal with high nutritional value used mainly for human consumption and in recent years a strong interest in the crop has been created due to its agronomic technical potential and nutritional characteristics. The objective of the research is to describe the activities carried out by amaranth producers to create social value and contribute to the nutritional well-being of families and the population in the studied communities. The qualitative and descriptive methodology was used, obtaining primary data was from applying interviews to 37 producers of the rural social enterprise (ESR) Centéotl A.C. To establish a positive impact, the frequency of positive responses greater than 50 % was identified through analysis in the statistical package SPSS v. 25. Within the results obtained, it is observed that the producers acquire entrepreneurial skills by the ESR to promote production, consumption and sale, derived from this, they adopt the crop as a complementary activity, in the first place they cover their nutritional needs and help to maintain the health of the producers due to its nutritional value and the surplus is sold.

Index words. Social and solidarity economy, creation of social value, food security.

INTRODUCCIÓN

El emprendimiento social surge del conjunto de iniciativas que se forman en diferentes partes del mundo para solucionar o mejorar el bienestar social.

Con la finalidad de dar respuesta a las necesidades de bienestar. El mundo empresarial está enfocado en la productividad y rentabilidad por encima del individuo. Ante esto, la creación de emprendimientos es necesario para la sustentabilidad económica, social y ambiental que en su conjunto promuevan el bienestar social (Fuentes, 2009). Derivado de ello, se tiene que destacar que algunos innovadores emprendedores sociales se enfocan en los problemas del ser humano y comunidades por encima de intereses económicos. Es decir; desde la perspectiva de los derechos humanos buscan la igualdad de oportunidades para todas las personas en todas sus dimensiones (Rojas, 2020).

De acuerdo con Roberts y Woods (2005), Martin y Osberg (2007), Dees (2001), Palacios (2010) y Brown & Moore (2001) consideran que este enfoque se podría lograr mediante la edificación, valoración y seguimiento de líneas acción para generar un cambio en la sociedad. Empezar objetivos sociales y creación de valor social a través de desarrollar capacidades y actividades, servicios, diseño y comercialización de productos con la finalidad de contribuir en el bienestar de un grupo específico, una comunidad o una región, dando respuesta a su vez a carencias sociales (Benjumea, 2012). Si bien, la economía social y solidaria no trata de imponer diferentes modos de producción, organización o comercialización, sino considera recuperar formas de producción asentadas en valores de solidaridad y reciprocidad, es decir generar otras formas de analizar desde el conocimiento científico, el saber de las comunidades a manera de enfatizar el bienestar de las personas y su relación con la naturaleza (Hernández y Ramírez, 2020). En ese sentido la aportación de la economía social y solidaria es construir relaciones de producción, de

intercambio y de cooperación que propicien la suficiencia, calidades sustentadas en la solidaridad (Coraggio, 2011).

El emprendimiento social desde el enfoque europeo se refiere aquellas actividades sin beneficios económicos o cooperativa de incidencia para la comunidad y que su vez generen ingresos para su misma actividad, es decir una economía social (Nyssens, 2006). El tercer sector económico corresponde a la existencia de organizaciones que no pertenecen al Estado ni participan en el mercado o lo hacen marginalmente y/o son propósito y ánimo de lucro (Guerra, 2020). Organizaciones que expresan intereses colectivos o sociales y en este sector se encuentran empresas sociales que actúan en el ámbito rural llamadas empresas sociales rurales, organizaciones que contribuyen en la vida comunitaria, se organizan de forma colectiva y bajo los principios de sustentabilidad, producen, conservan y aprovechan los recursos naturales, y a su vez protege el patrimonio biocultural (Toledo et al., 2014).

En México figuran como cooperativas, comunidades o asociaciones, dedicadas con diversas actividades entre ellas; administración de bosques, selvas, producción de café, cacao, miel y demás productos orgánicos, cuidado de fauna silvestre y preservación comunitaria. De acuerdo con la literatura, en este tipo de modelo de empresas su análisis se diferencia en los siguientes ejes; económico, el medio de producción propiedad de socios de la empresa neoclásica a propiedad de los campesinos y jornaleros, el salario o ingreso con relación a generar ganancias a actividades productivas no proletarias, etc. En el eje social, trabajan en beneficio de equidad de género, justicia social, inclusión y cultura. En términos ambientales operan por la producción sustentable, capacidad de carga de los ecosistemas, huella ecológica y desarrollo sustentable, (Barkin et al., 2009; Fuente, 2009; Rosas y Barkin, 2009; Bartra, 2006; Leff, 1998; Naredo, 1994).

En las áreas rurales, los espacios marginados se presentan cuando se dejan de lado las actividades

agrícolas y por otro las condiciones climáticas que se presentan, lo que conlleva a no producir alimentos de calidad y la necesidad de revitalización del campo agrícola (Comité de seguridad alimentaria, 2012). En ese contexto, los emprendimientos de economía social y solidaria como actividades agrícolas en zonas urbanas y comunidades son importantes para potencializar los recursos naturales disponibles y con ello alcanzar un desarrollo local y contribuir en la alimentación (ONU Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre Economía Social y Solidaria, 2014).

En el caso de Latinoamérica se están desarrollando estrategias de producción agrícola para el autoconsumo, primero desarrollar y fomentar sistemas agroalimentarios localizados

SIAL vinculados a las cadenas de distribución y consumo a escala local y regional. Segundo están priorizando alimentos nutritivos y originarios de las comunidades (Bonilla, 2020; Paredes y Sato 2018; Medina, 2018; Boza et al., 2017).

De acuerdo con la FAO (2007), la población tiene asegurada la alimentación cuando alimentos nutritivos que satisfacen sus necesidades son accesibles y económicos. De acuerdo con Jiménez (1995) uno de los objetivos fundamentales de la seguridad alimentaria es brindar bienestar nutricional a toda la población y para su medición la ONU (2014), propuso dos variables: (i) estabilidad de alimentos integrada por dos dimensiones: disponibilidad y acceso a los alimentos, y (ii) utilización de alimentos.

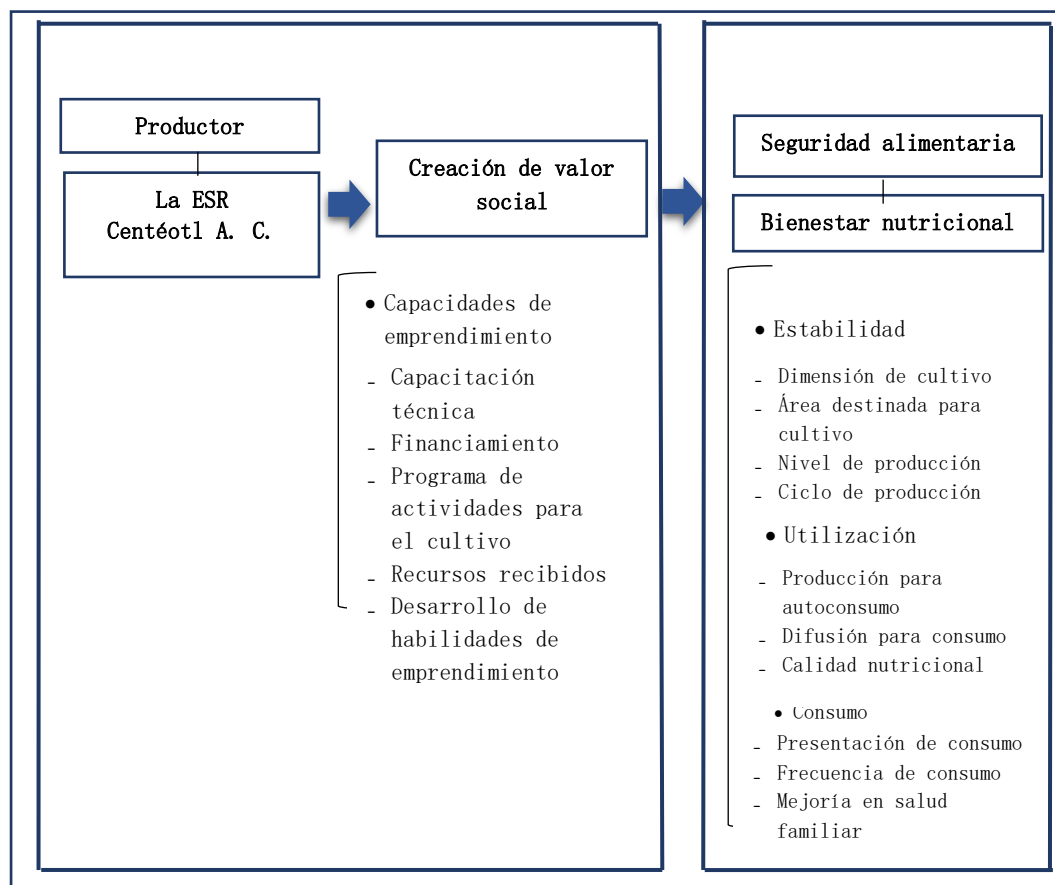


Figura 1. Modelo teórico metodológico. Emprendimiento social y bienestar nutricional, productores de amaranto en Valles Centrales y Sierra Sur de Oaxaca. Elaboración propia de acuerdo con Roberts & Woods, 2005; Nyssens, 2006; Benjumea, 2012; FAO, 2007.

En materia de seguridad alimentaria en México, el SIAL de empresas dentro de la ESS distribuidas en centro y sur de Oaxaca han conservado técnicas tradicionales y agroecológicas para cultivar amaranto, un cereal con nutrientes que exceden a los que tienen otros cereales de consumo común, especialmente para personas intolerantes al gluten (Contreras et al., 2017).

Principalmente en regiones del sur del país, las empresas en este ramo han obtenido la denominación de origen y marca territorial para proteger y garantizar la autenticidad y originalidad de la producción tradicional de amaranto, además han desarrollado y fortalecido la cadena de valor de producción del amaranto. En donde, su principal estrategia para posesionarse en nichos de mercado de productos tradicionales producidos con técnicas agroecológicas dirigido a consumidores responsables y comprometidos con la justicia social, la equidad de género y cuidado ambiental, ha sido la diversificación de productos de amaranto (Hernández et al., 2018; Hernández et al., 2020). En ese sentido, el objetivo de este artículo es describir las actividades de emprendimiento social que realizan los productores de amaranto para contribuir en el bienestar nutricional de sus familias y las comunidades de Valles Centrales y Sierra Sur de Oaxaca. Se propone como hipótesis central HI lo siguiente: La creación de valor social desde el emprendimiento incide en el bienestar nutricional de la población de las localidades Santa Inés del Monte, San Jerónimo Taviche, San José del Progreso, San Miguel Mixtepec, Santa Ana Zegache, Zimatlán de Álvarez, Villa de Zaachila, Santa María Lachixío y Villa Sola de Vega (**Figura I**).

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación fue cualitativa descriptiva, se utilizó la recolección de herramientas empíricas para mayor acercamiento al objeto de estudio. Se utiliza el estudio de caso se llevó a cabo con 37

productores de amaranto que se colaboran de manera conjunta con la empresa social rural Centéotl en Zimatlán, Oaxaca, como estrategia para abordar fenómenos contemporáneos de forma empírica en términos globales, se recolectó y analizó datos cualitativos para describir y explicar las variables de estudio (Vasilanchis, 2006; Yin, 1994).

Las técnicas de recolección de información fueron dos: la primera; observación participante la cual se permitió un mayor acercamiento con los actores participantes en un periodo determinado (Queiroz et al., 2007), la segunda; entrevista semiestructurada con la intención de conocer las actividades que desempeñan los productores de amaranto para producir y abastecer el grano a la ESR Centéotl, A.C.

Área de estudio

La unidad de análisis fueron 37 productores de amaranto ubicados en nueve localidades (Santa Inés del Monte, San Jerónimo Taviche, San José del Progreso, San Miguel Mixtepec, Santa Ana Zegache, Zimatlán de Álvarez, Villa de Zaachila, Santa María Lachixío y Villa Sola de Vega) (**Figura 2**).

La entrevista constó de 14 preguntas: las primeras cinco preguntas permitieron analizar la variable creación de valor social y las siguientes nueve permitieron analizar la variable bienestar nutricional para observar la estabilidad en la producción y consumo para la mejora de nutrición, de acuerdo al modelo teórico metodológico se analizó la información a través del registro de datos en Excel 2013 y después del procesamiento en el software estadístico SPSS v. 25. Para determinar que los productores a través de la empresa social rural crean valor social tuvo impacto positivo en el bienestar nutricional, se determinó la frecuencia de las afirmaciones con más del 50 % de acuerdo a la percepción del productor.

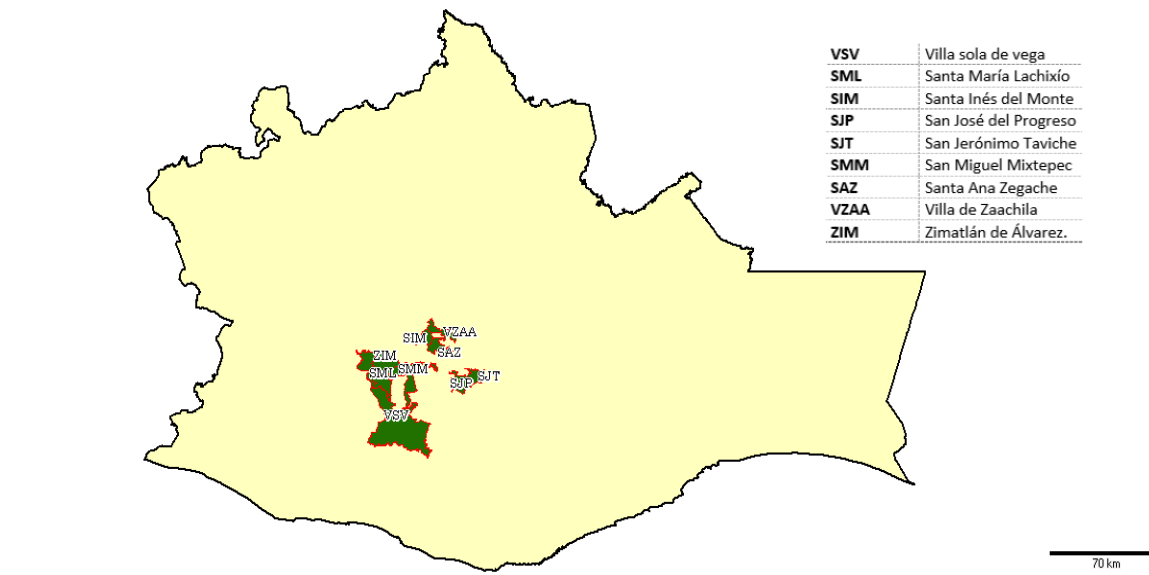


Figura 2. Mapa de localización de comunidades productoras de amaranto elaboración propia en mapa digital versión 6.3.0

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Centro de Desarrollo Comunitario Centéotl A.C, se instauró en 1994 con la finalidad de impulsar procesos de trabajo organizativo-productivo para promover la autosuficiencia alimentaria, identidad cultural, equidad de género y participación y cuidado del medio ambiente de comunidades de la región de Valles Centrales y Sierra Sur de Oaxaca. A partir de esa fecha, trabaja con grupos de productores de amaranto de distintas localidades para fomentar y promover la producción, comercialización y consumo de amaranto como alimento estratégico nutricional.

Para dar respuesta a la hipótesis anterior HI donde la creación de valor social desde el emprendimiento incide en el bienestar nutricional de la población de las localidades estudiadas, se describen a continuación las variables analizadas en este artículo. La empresa promueve la producción de amaranto a través de talleres y capacitaciones en el cultivo.

Creación de valor social

El estudio de las actividades que realizan los productores quedó integrado por la dimensión capacidades de emprendimiento definida por cinco ítems: 1) capacitación técnica, 2) financiamiento, 3) programa de actividades para el cultivo, 4) Recursos recibidos, 5) desarrollo de habilidades de emprendimiento.

En el ítem capacitación técnica el 81.08 % considera que la asesoría técnica es muy importante para mejorar la producción de amaranto (**Figura 3**).

En el ítem financiamiento se observó lo siguiente: el 51.35 % estuvo totalmente de acuerdo que los recursos económicos para el cultivo de amaranto son obtenidos de financiamiento (**Figura 4**).

Para el ítem 3) programa de actividades para el cultivo. Solo el 45.95 % estuvo totalmente de acuerdo en la importancia de programar sus actividades dedicadas al cultivo de amaranto, mientras que 35.14 % de acuerdo, 16.23 % parcialmente de acuerdo y 2.70 % totalmente de acuerdo (**Figura 5**).

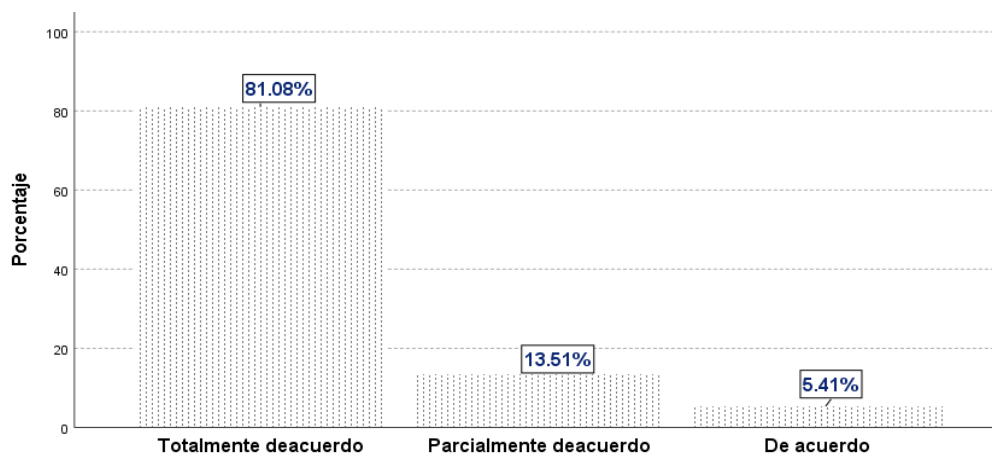


Figura 3. Capacitación técnica. Información recopilada de las entrevistas y analizada con paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

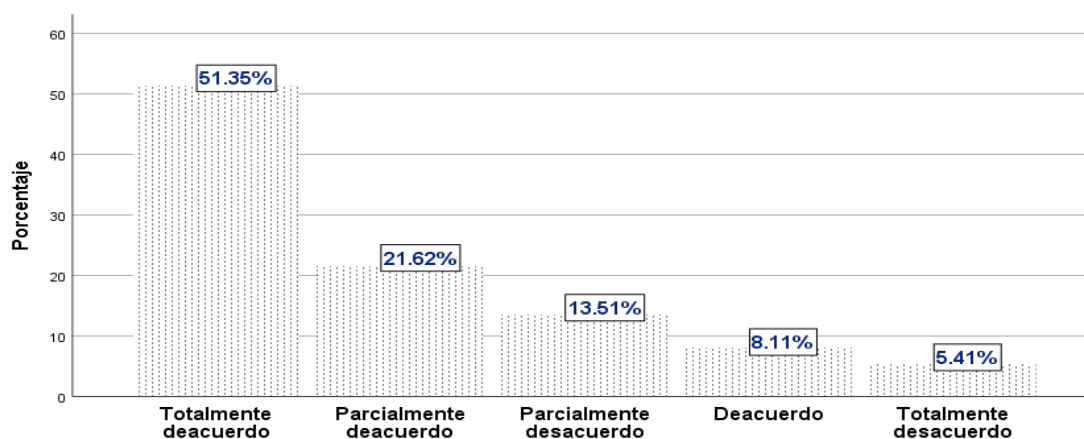


Figura 4. Financiamiento. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

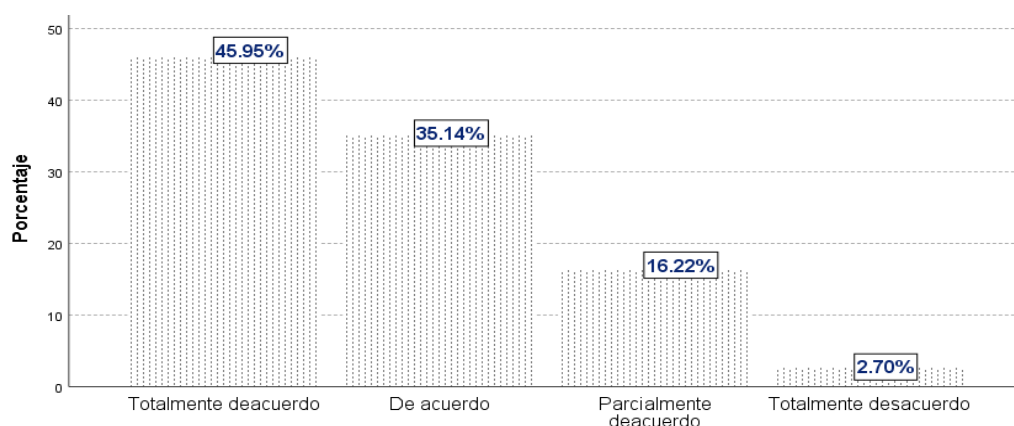


Figura 5. Programación para actividades del cultivo. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

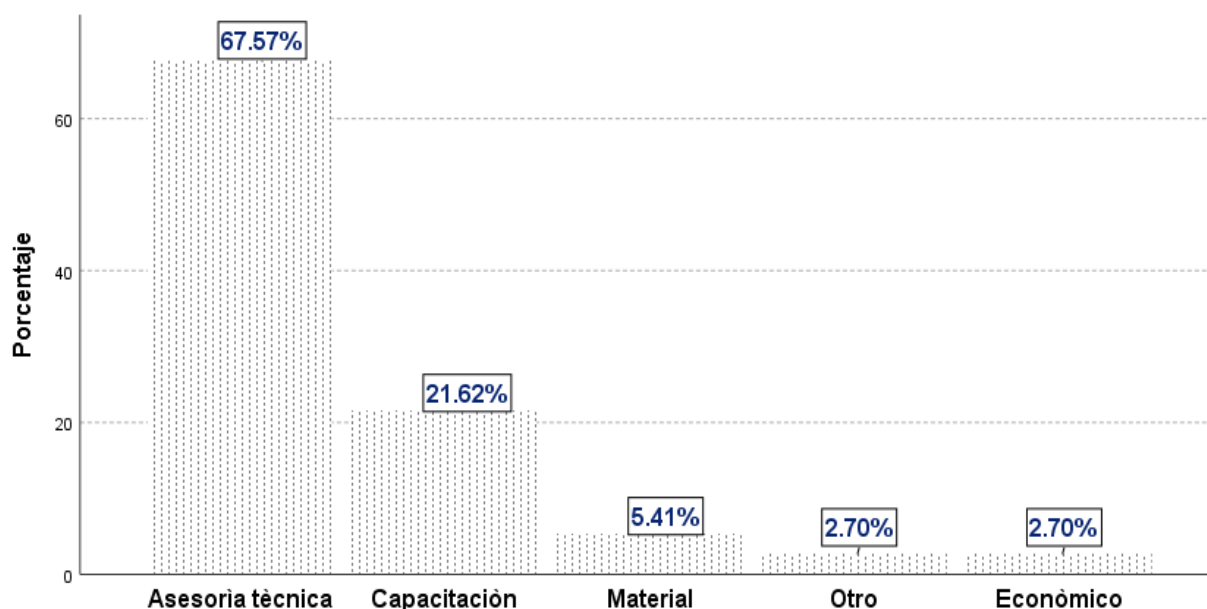


Figura 6. Recursos recibidos por parte de Centéotl A.C. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

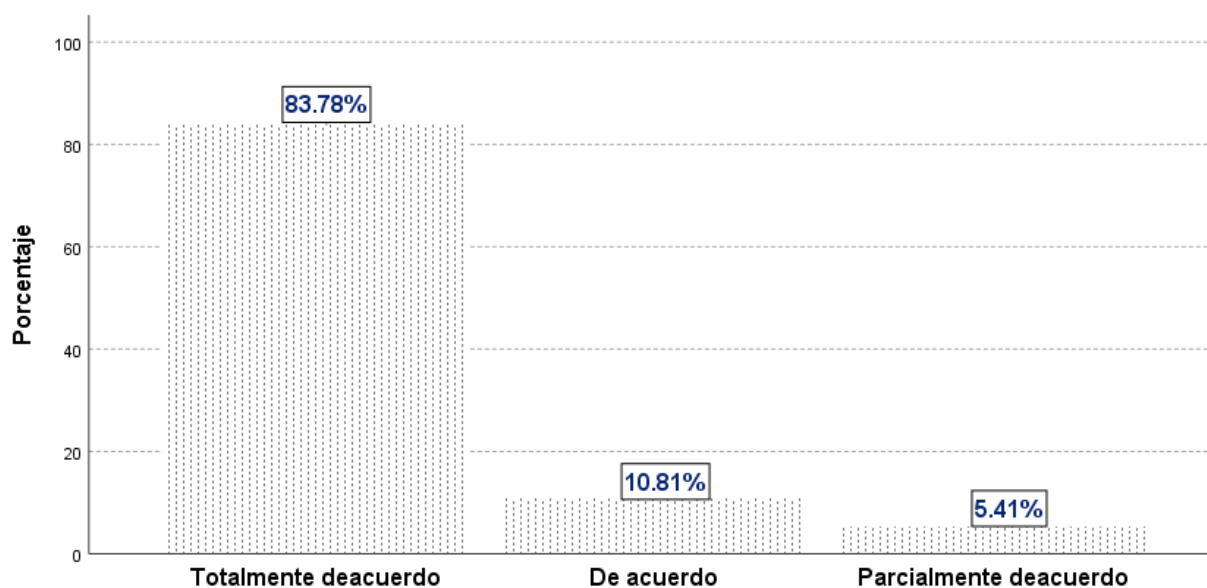


Figura 7. Habilidades de emprendimiento. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

Con relación al ítem 4) Recursos recibidos por la ESR Centéotl fueron asesoría técnica 67.57 %, capacitación 21.62 %, material 5.41 %, económico 2.70 % y otro 2.70 % (**Figura 6**).

Para el ítem 5) desarrollo de habilidades de emprendimiento. 83.8 % estuvo totalmente de acuerdo que la ESR Centéotl propicia el desarrollo de habilidades de emprendimiento (liderazgo, responsabilidad, trabajo en equipo) para la producción y promoción de amaranto (**Figura 7**).

Bienestar nutricional

La variable bienestar nutricional quedó integrada por 3 dimensiones 1) estabilidad, 2) utilización y 3) consumo. La primera, estabilidad viene definida por 3, el ítem: dimensión del cultivo, área destinada para el cultivo, nivel de producción

Con relación a la dimensión del cultivo el 32.43 % destina 1 ha de superficie para el cultivo

de amaranto, 29.73 % 1-2 ha, 16.22 % $\frac{1}{2}$ ha, 10.81% $\frac{1}{4}$ ha y 10.81 % menos de $\frac{1}{4}$ ha. (Figura 8).

En área destinada para el cultivo, el 91.89 % asigna un terreno o parcela, mientras que el 5.41 % lo cultiva en invernadero y 2.70 % otro (Figura 9).

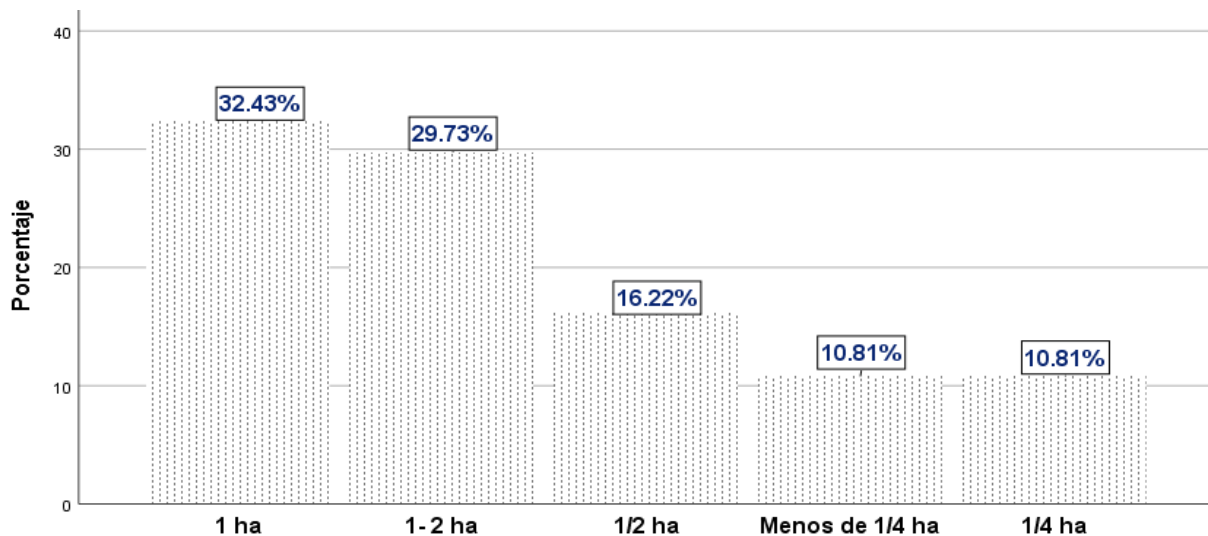


Figura 8. Dimensión del cultivo. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

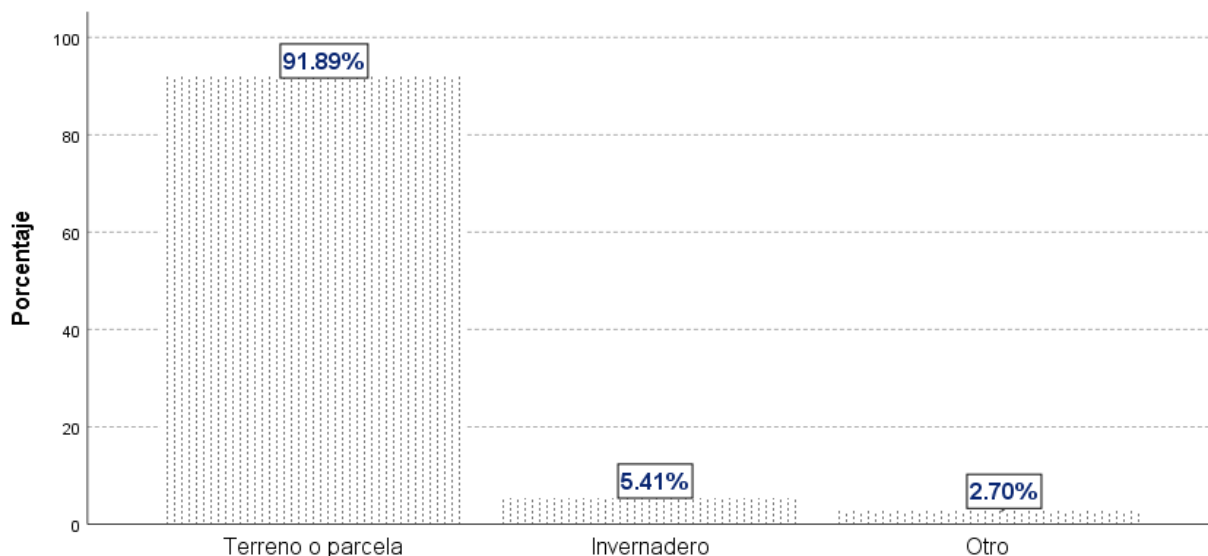


Figura 9. Área destinada al cultivo de amaranto. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

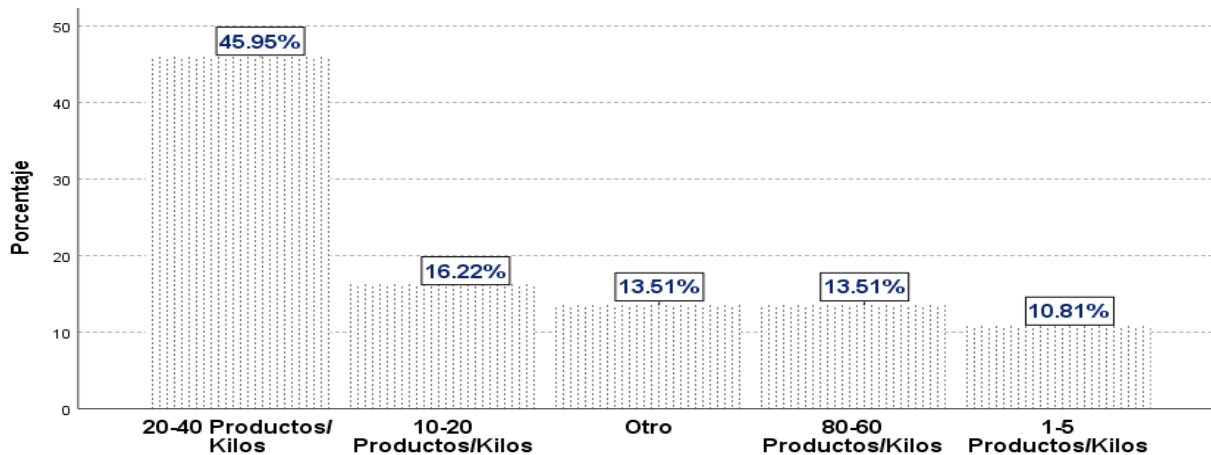


Figura 10. Nivel de producción, de manera mensual. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

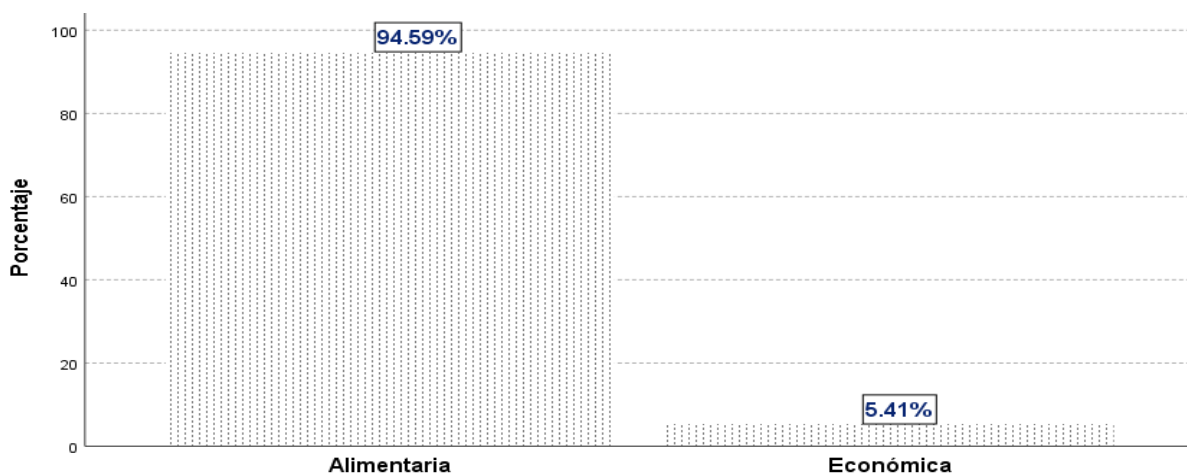


Figura 11. Necesidades que solucionan el cultivo de amaranto. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

En el ítem nivel de producción la cantidad de amaranto cosechado mensualmente fueron 20-40 kg/uds 17 45.95 %, 10-20 kg/uds 16.22 %, 80-60 kg/uds 13.51 %, otro 13.51 %, 80-60 kg/uds 13.51 % y 1-5 kg/uds 10.81 % (**Figura 10**).

La segunda dimensión utilización quedó integrada por 3, el ítem: producción para autoconsumo, difusión para consumo y calidad nutricional.

En el ítem producción el 94.5 % cultiva el amaranto para autoconsumo, es decir considera que la principal necesidad que soluciona el amaranto es la alimentaria y solo 5.41 % para fines económicos (**Figura 11**).

En el ítem difusión para consumo. Todos los productores están totalmente de acuerdo en que la difusión del consumo de amaranto es de vital importancia 100 %.

En relación a la calidad nutricional. El 97.30 % estuvo totalmente de acuerdo en que el amaranto es una de las plantas con mayor calidad nutricional

y únicamente 2.70 % totalmente desacuerdo (Figura 12).

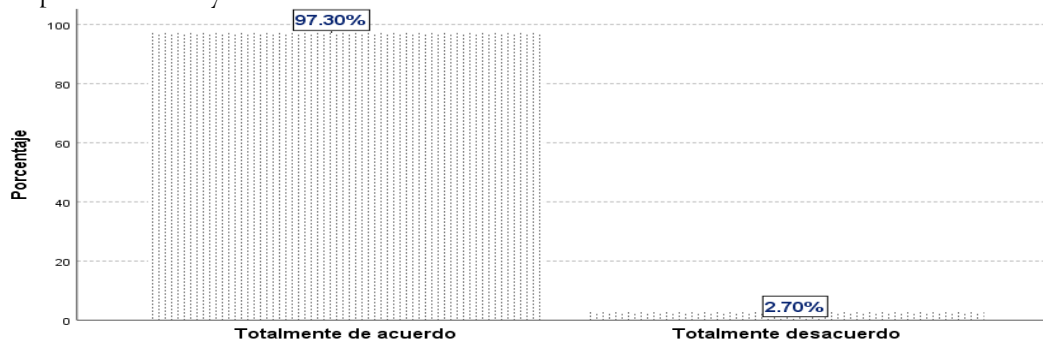


Figura 12. Planta con alto valor nutricional. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

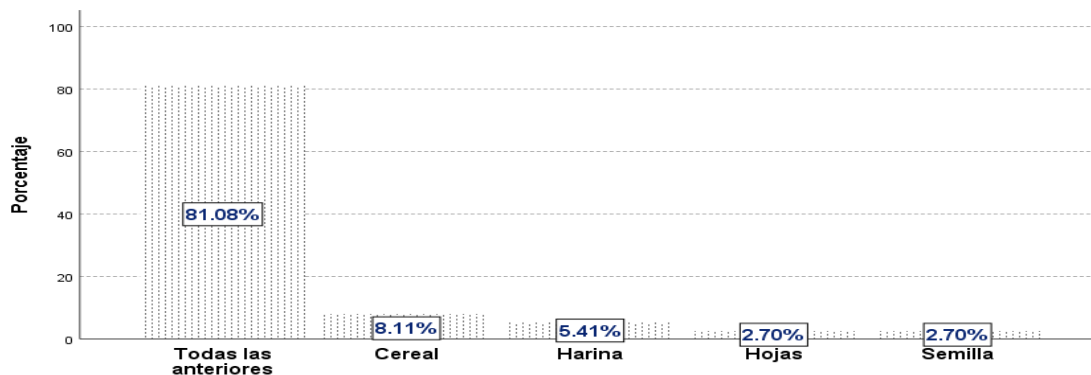


Figura 13. Presentación de consumo de amaranto. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

La dimensión 3) consumo quedó integrada por 3, el ítem: presentación de consumo, frecuencia de consumo y mejoría en la salud familiar.

En el ítem presentación de consumo. El 81.08 % mencionó que la mejor presentación de consumir amaranto es todas las anteriores (semilla,

harina, cereal, hojas), 8.11 % cereal, 5.41 % harina, 2.70 % semilla y 2.70 % hojas (Figura 13).

Para el ítem frecuencia de consumo. El 70.27 % recomienda el consumo de amaranto diario, 13.51 % 2 veces a la semana, 10.81 % una vez a la semana, 2.70 % otro y 2.70 % 3 ó 4 veces a la semana (Figura 14)

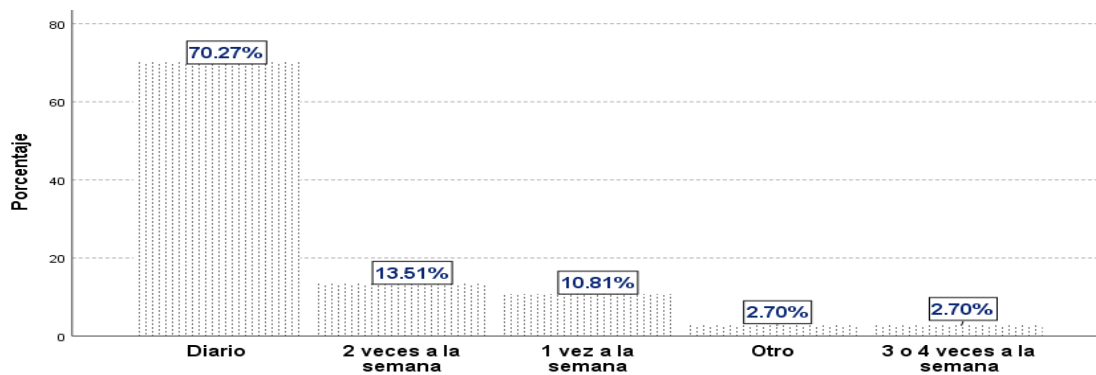


Figura I4. Frecuencia de consumo de amaranto. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25.

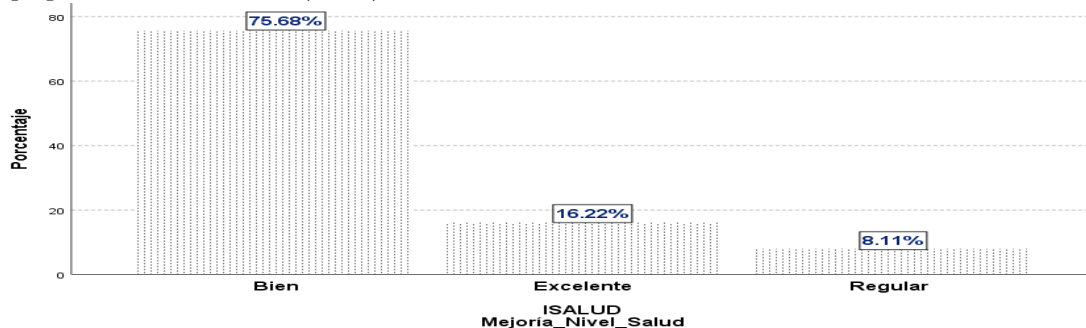


Figura I5. Mejoría en el nivel de salud familiar. Información recopilada de las entrevistas y analizada con el paquete estadístico IBM (SPSS) versión 25

Para el ítem mejoría en la salud familiar. El 75.68 % consideró que ha mejorado su nivel de salud desde que colaboran con la ESR Centéotl, esto debido al consumo de amaranto, 21.62 % no y 2.70 % no sabe (**Figura I5**).

Para la comprobación de hipótesis se observa que los productores a través de las capacitaciones técnicas para el cultivo de amaranto 81.08 % y talleres participativos para la producción, comercialización y consumo del amaranto impartidos por la empresa social rural Centéotl A.C han creado valor social para promover el cultivo de amaranto para autoconsumo 94.5 % debido a las características nutrimentales que posee este grano 97.30 % derivado de ello lo recomiendan incluirlo en la dieta diaria en sus diferentes presentaciones tallo, semilla y hoja 81.08 % y con ello mejorar el bienestar nutricional de los productores y las familias de las comunidades con mayor vulnerabilidad.

En relación a la discusión del artículo, las empresas y personas con ideas innovadoras llevan a cabo el emprendimiento social bajo una estructura tradicional de ventas. Resuelven problemas socioeconómicos y medioambientales. En relación a las capacidades de emprendimiento los productores de amaranto se encuentran en la fase de producción reconocen la importancia de programar sus actividades 45.95 %, lo realizan de manera empírica, el cultivo lo realiza de manera manual y destinan una hectárea de dimensión para este cultivo, cosechan de 20-40 kg anualmente. Dado que el emprendimiento social utiliza una empresa como medio para lograr sus objetivos, los productores de amaranto se apoyan del Centro de desarrollo comunitario Centéotl A.C. Ellos han identificado que cultivar amaranto contribuye en su alimentación, y en un futuro les permitiría generar empleos de calidad y les permitiría emplear a personas excluidas dentro de la comunidad. Sin embargo, para seguir con actividades de emprendimiento en este cultivo es importante la promoción masiva del impulso de la producción

de este grano, por otra parte, es importante el acompañamiento a que las comunidades mejoren sus condiciones de alimentación y economía, y la propuesta de este grano es importante para que lo adopten en su dieta diaria y como actividad económica complementaria. En ese sentido, la preocupación recae en que en su mayoría estos productores depositan su total confianza en la empresa y ésta siga promoviendo el interés colectivo y por parte de la empresa consideran que en estas comunidades su intervención recae en enseñar y propagar el cultivo de amaranto como medio de vida sin que dependan de la ayuda externa (Acción contra el Hambre, 2023). Se propone a las comunidades vulnerables el cultivo de amaranto como fuente sostenible de alimentos e ingresos.

Por esta razón, para los productores una vez cubiertas sus necesidades de alimentación y tener excedentes han adoptado el cultivo de amaranto como actividad económica complementarias, sin embargo, las condiciones climáticas no están favoreciendo, ante ello; buscan estrategias alternativas de producción, bajo esquemas agroecológicos.

CONCLUSIONES

En relación al efecto positivo de la creación de valor social (CVS) el cual consiste en crear valor que contribuya en la mejora de la sociedad a partir del surgimiento de iniciativas participativas Benjumea (2012), en este caso cultivar amaranto y su incidencia en el bienestar nutricional se puede citar como ejemplo el caso de Colombia donde por medio de la organización Agrosolidaria trabaja con escuelas para revitalizar la agricultura familiar campesina y elabora propuestas para mejorar las condiciones económicas y calidad de vida de las familias (CAC, 2015).

Se comprueba que el Centro de desarrollo comunitario Centéotl A.C a través de la promoción en el cultivo, transformación y comercialización del amaranto permite al productor adoptarlo como actividad económica

complementaria, misma que cubra su alimentación y generación de excedentes, con ello mejorar su bienestar nutricional y económico.

REFERENCIAS

- Acción contra el Hambre. (24 de junio de 2023). SEGURIDAD ALIMENTARIA Y MEDIOS DE VIDA. Disponibilidad, acceso y uso adecuado de los alimentos, sostenido en el tiempo: <https://www.accioncontraelhambre.org/es/qu-ue-hacemos/seguridad-alimentaria-medios-de-vida>
- Bartra, A. (2006). *El capital en su laberinto. De la renta de la tierra a la renta de la vida*. UAM.
- Barkin, D., Fuente, M., & Rosas, M. (2009). Tradición e innovación. Aportaciones campesinas en la orientación de la innovación tecnológica para forjar la sustentabilidad. *Trayectorias*, 11(29), 39-54.
- Benjumea, A. M. (08 de Mayo de 2012). *bdigital REPOSITORIO INSTITUCIONAL UN*. Obtenido de Metodología para la evaluación de impacto de los emprendimientos sociales. Universidad de Colombia bdigital: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9695/>
- Bonilla, M. (2020). Agrosolidaria: Tejiendo en Colombia una red agroalimentaria de comercio justo campo ciudad con enfoque agroecológico y de finanzas comunitarias. *Magazín Ruralidades y Territorialidades*, 1(19), 48-51.
- Boza, S., Cortés, M. & Muñoz, T. (2017). *La puesta en valor del patrimonio agroalimentario como estrategia de fomento de la AFC en Chile*. En, Bravo Peña, *Universidad, Agricultura Familiar y Políticas Públicas. Chile: GIPAFF*. (pp. 145-153). Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147153>
- Brown, D., & Moore, M. (2001). Accountability, Strategy, and International Non-Governmental Organizations. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly*, 30(4), 569-587.
- Comité de seguridad alimentaria. (20 de Agosto de 2012). *FAO*. Obtenido de Organización de las

- Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:
<http://www.fao.org/3/me495s/me495s.pdf>
- Contreras, J., Ramírez de la O, I., Viesca-González, F., & Thomé-Ortíz, H. (2017). *La búsqueda de la denominación de origen (do) del amaranto de Santiago Tulyehualco, Xochimilco, D.F.* En, H. Thomé-Ortíz, & A. Martínez-Campos. *Calificación, valorización y turismo. Aproximaciones al patrimonio agroalimentario.* (pp. 183-216). COLOFÓN. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/79757>
- Confederación agrosolidaria Colombia, CAC (2015). *Finanzas comunitarias.* Recuperado de: <http://www.agrosolidaria.org/index.php/ejes-de-trabajo/sistema-financiero>, el 20 de octubre de 2021.
- Coraggio, J. (2011). Economía social y solidaria. El trabajo antes que el capital. Ediciones Abya-Yala.
- Guerra, P. (12 de Marzo de 2020). base.socioeco.org. "De la economía social y la economía solidaria a las economías transformadoras: antecedentes en la construcción teórica de un tercer de la economía": <https://base.socioeco.org/docs/75-15-pb.pdf>
- Dees, J. (2001). The Meaning of "Social Entrepreneurship. The Meaning of "Social Entrepreneurship, 1-5.
- Fuentes, M. (2009). Nueva ruralidad comunitaria y sustentabilidad: contribuciones al campo emergente de la economía-ecológica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 13, 41-55.
- FAO. (2007). Conferencia internacional sobre agricultura orgánica y seguridad alimentaria, FAO, Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/j9918s/j9918s.pdf>
- Hernández, B., Regino, J., & Miguel, A. (2020). La empresa social rural y su contribución en la conservación del amaranto como patrimonio agroalimentario, estudio de Caso: Centéotl, A.C. Zimatlán, Oaxaca, México. *Revista Estudios Andaluces*, 39, 166-179. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i39.09>
- Hernández, N. L., & Ramírez, F. M. (2020). El fomento a la Economía Social y Solidaria en México. *Otra Economía*, 15(27), 103-122.
- Hernández, B., Santiago, D., Miguel, A., Cruz, C., & Regino, J. (2018). Empresas sociales rurales, estrategia de desarrollo sustentable y conservación del patrimonio cultural inmaterial. Caso: Amaranto (*Amaranthus spp*) de Mesoamérica. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42, 955-966.
- Jiménez, S. (1995). Métodos de medición de la seguridad alimentaria. *Revista Cubana de Alimentos y Nutrición*, 9(1), 62-67.
- Leff, E. (1998). *Ecología y capital. Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable.* Siglo XXI.
- Martin, R., & Osberg, S. (2007). Social Entrepreneurship: The case for definition. *Stanford social innovation*, 28-39.
- Medina, A. (2018). Estudio de factibilidad para la elaboración y comercialización del Amaranto aplicado en una barra energética, en la ciudad de Guayaquil. Tesis de licenciatura. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/35904>
- Naredo, J., M. (1994). *Fundamentos de la economía ecológica.* En, F. Aguilera Klink, & V. Alcántara. (Comps.). *De la economía ambiental a la economía ecológica.* (pp. 231-252) ICARIA.
- Nyssens, M. (2006). Social Enterprise: At the crossroads of market, public policies and civil society. *Social Enter C*, 1-329.
- ONU Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre Economía Social y Solidaria. (23 de Julio de 2014). La Economía Social y Solidaria y el Reto del Desarrollo Sostenible. Ginebra: ONU Grupo de Trabajo Interinstitucional sobre Economía Social y Solidaria. Obtenido de http://unsse.org/wpcontent/uploads/2014/08/Position-Paper_TFSSE_EspI.pdf
- Palacios, N. G. (2010). Emprendimiento social: integrando a los excluidos en el ámbito rural. *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, 579 - 590.

- Paredes, C. y Sato, V. (2018). Agricultura Autóctona para el desarrollo humano y social como única alternativa para la lucha contra el hambre en la región Salta–Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
- Queiroz, D., Vall, J., & Souza, Â. (2007). Observação Participante na Pesquisa Qualitativa: Conceitos e aplicações na área da saúde. *R. Enferm. UERJ*, 276-83.
- Rojas Herrera, J. (2020). LA ECONOMÍA SOCIAL SOLIDARIA Y LA POLÍTICA SOCIAL DEL NUEVO GOBIERNO FEDERAL. *Revista de ciencias sociales*, 29(57)(3), 68-87.
<https://doi.org/https://doi.org/10.20983/noesis.2020.I.4>
- Roberts, D., & Woods, C. (2005). Changing the world on a shoestring: The concept of social entrepreneurship. *University of Auckland Business*, 45-51.
- Rosas, M. & Barkin, D. (2009). *Non-proletarian income generating activities: A model a community economy*. En G. Malhotra. *Environmental growth a global perspective*. (pp. 303-317). MacMillan.
- Toledo, M. V., Ortiz, E. B., Espinoza, G. M., Montoya, D., & Martínez, C. A. (2014). *México, regiones que caminan hacia la sustentabilidad*. Puebla, México: Universidad Iberoamericana Puebla.
- Vasilanchis, d. G. (2006). Estrategias de Investigación cualitativa. En I. V. Gialdino, *Estrategias de Investigación cualitativa* (págs. 24-25). Barcelona España: Gedisa, S.A.
- Yin, R. (15 de Julio de 2021). *Investigación sobre estudios de caso*. Obtenido de Investigación sobre estudios de caso,. Diseño y Métodos: <https://panel.inkuba.com/sites/2/archivos/YIN%20ROBERT%20.pdf>

INDICADORES DE CALIDAD COMO HERRAMIENTAS ÚTILES PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

QUALITY INDICATORS AS USEFUL TOOLS FOR ASSESSING SOIL FERTILITY STATUS

¹Eric Guillermo Echeverría-Pérez¹, ²Ernesto Castañeda-Hidalgo², ³Celerino Robles³, ³Verónica Martínez-Gallegos³, ²Gisela M. Santiago-Martínez², ²Gerardo Rodríguez-Ortiz²

^{1,2} Estudiante, investigador. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. ²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. ³Instituto Politécnico Nacional. CIDIIR-Unidad Oaxaca. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. [§]Autor de correspondencia:(casta_h50@hotmail.com)

RESUMEN

La evaluación de la fertilidad del suelo de un área o región es una herramienta básica que ayuda a cuantificar las propiedades físicas, químicas y biológicas para realizar el manejo sostenible de los nutrientes del suelo. El muestreo y el análisis del suelo son técnicas indispensables para evaluar su estado y potencial de uso, se practican ampliamente desde escalas de laboratorio y campo. Sin embargo, la elección de las propiedades y la interpretación de las mediciones no son sencillas, debido a la complejidad, la especificidad del sitio y características de los suelos. A nivel mundial en la agricultura tradicional, es poco usual evaluar la fertilidad de los suelos, al considerarse costoso y tardado. El objetivo de este artículo es analizar y discutir la contribución de los indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad de suelos agrícolas mediante la revisión de conceptos, enfoques de evaluación y selección e interpretación de los indicadores químicos (pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, hierro y micronutrientes zinc, boro, molibdeno, manganeso y cloro), físicos (densidad aparente, textura, porosidad y estructura) y biológicos (actividad y biodiversidad de las comunidades microbianas). El monitoreo y registro del estado de la fertilidad del suelo es de suma importancia en todo sistema agrícola, puesto que los rendimientos dependen de la capacidad del

suelo para proveer a la planta todos los nutrientes necesarios para su desarrollo.

Palabras clave: Calidad de suelos, propiedades físicas del suelo, propiedades químicas del suelo.

ABSTRACT

The evaluation of the soil fertility of an area or region is a basic tool that helps us quantify the physical, chemical and biological properties to carry out the sustainable management of soil nutrients. Soil sampling and analysis are essential techniques to assess its status and potential use, they are widely practiced from laboratory and field scales. However, the choice of properties and the interpretation of the measurements are not simple, due to the complexity, the specificity of the site and the characteristics of the soils. Worldwide, in traditional agriculture, it is unusual to assess soil fertility, as it is considered costly and time consuming. The objective of this article is to contribute to expand the knowledge of soil quality based on its functions by reviewing in terms of definition, evaluation approaches, and selection and interpretation of chemical indicators (pH, electrical conductivity, exchange capacity cationic, the content of organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminum, iron and zinc, boron, molybdenum, manganese and chlorine micronutrients), physical (bulk density, texture, porosity and structure) and biological (activity and biodiversity of microbial communities). Monitoring and recording the state

of soil fertility is extremely important in any agricultural system, since yields depend on the ability of the soil to provide the plant with all the necessary nutrients for its development.

Index words: Analysis, oil quality, soil physical properties, soil chemical properties.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales factores que están asociados a la baja capacidad productiva de los sistemas de cultivo es la pérdida de la fertilidad del suelo, siendo esta el conjunto de procesos dinámicos físicos, químicos y biológicos que abonan a la sustentabilidad de los agroecosistemas (Orellana-Salas y Lalvay-Portilla, 2018). El desconocimiento de la fertilidad provoca graves problemas en la producción, rendimiento y degradación de los suelos debido a la falta de información básica que permita establecer programas de manejo en la producción agrícola sustentable. Dentro de la agricultura tradicional es poco usual evaluar la fertilidad de suelos, por considerarse costoso y tardado (Vega-Blancas, Fernández-Reynoso, Macedo-Cruz, Ríos-Berber y Ruiz-Bello, 2022).

Los sistemas agrícolas modernos a nivel mundial se caracterizan por el manejo intensivo del suelo, principalmente para producción hortícola, lo que provoca problemas en el suelo como: deterioro de la calidad y fertilidad, de producción, rendimiento y degradación; asimismo, el uso inadecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna asociados con el uso excesivo de fertilizantes

químicos sintéticos y el mal manejo del estado nutrimental (Valera, Rodríguez y Martínez, 2019).

El contar con información disponible permitirá a los productores, científicos e interesados, implementar estrategias de mejora y manejo de los suelos agrícolas a partir del conocimiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas para contribuir en la autosuficiencia, seguridad y soberanía alimentaria de los agricultores (Cotler, Corona y Galeana-Pizaña, 2020).

El objetivo general de este artículo de revisión es analizar y discutir la contribución de los indicadores de calidad como herramientas útiles para evaluar el estado de la fertilidad de suelos agrícolas. Se realizó mediante la técnica de la investigación documental a partir de la revisión bibliográfica detallada de las propiedades físicas, químicas y biológicas de mayor importancia para la valoración de la fertilidad de los suelos agrícolas, en especial, aquellos donde se practica la agricultura tradicional de temporal y de riego con cultivos básicos.

Se realizó un análisis detallado de los aspectos conceptuales de la fertilidad de los suelos agrícolas, y posteriormente un análisis de la contribución de las principales variables para los factores físicos (cuatro variables), químicos (doce variables) y biológicos (siete variables). Finalmente se realizan comentarios a manera de conclusión.



Figura I. La degradación del suelo como consecuencia del cambio global incluyendo factores climáticos y antrópicos (Muñoz-Rojas et al., 2021).

DESARROLLO

La fertilidad de los suelos agrícolas

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y alimentación (FAO, 2020), es la habilidad del suelo para suplementar nutrientes esenciales y agua a las plantas en cantidades adecuadas y condiciones para su crecimiento y reproducción en ausencia de sustancias tóxicas que puedan inhibir el crecimiento de las plantas.

La degradación del suelo está asociada a procesos antrópicos como la deforestación, la excesiva recurrencia e intensidad de incendios forestales, el sobrepastoreo, y otras actividades intensivas (Figura 1), como la agricultura y la minería (Muñoz-Rojas, Delgado-Baquerizo y Lucas-Borja, 2021).

Es urgente combatir la degradación y garantizar la seguridad alimentaria, mejorando su fertilidad y reduciendo el uso de fertilizantes sintéticos (Hueso-González, Muñoz-Rojas y Martínez-Murillo, 2018).

A continuación, se desarrolla el estudio de fertilidad de suelos agrícolas considerando aspectos más representativos desde las dimensiones física, química y biológica.

Fertilidad física de los suelos agrícolas

Es la capacidad del suelo de proporcionar condiciones físicas óptimas que apoyen la productividad, la reproducción y la calidad de planta (Núñez-Peñaloza, Cristóbal-Acevedo, Hernández-Acosta y Villanueva-Morales, 2022). La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Las principales variables de la fertilidad física de los suelos agrícolas que se incluyen en este apartado son: la densidad aparente, la textura, la porosidad del suelo y la estructura del suelo.

Densidad aparente de los suelos agrícolas (D_a)

Es una de las propiedades físicas del suelo más importantes, a partir de ella se pueden determinar otras propiedades y los cambios que sufre el suelo por asentamiento después de ser removido (Mendoza, Giler y Simbaña, 2022), por compactación, por el peso ejercido de los implementos agrícolas y por las láminas de riego aplicadas (Cid-Lazo, López-Seijas, Herrera-Puebla y González-Robaina, 2021).

Permite analizar la facilidad de penetración de las raíces al suelo, la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica, calcular las láminas de agua para el riego, calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas y estimar la masa de la capa arable (Urriola, 2020).

Típicamente la D_a del suelo varía en un rango de 1.0 a 1.7 g cm⁻³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil del suelo (USDA, 1999). Si la D_a aumenta, se incrementa la compactación, se limitan las condiciones de retención de humedad y crecimiento de las raíces (Bünemann, Bongiorno, Bai, Creamer, De Deyn, de Goede, Flesskens, Geissen, Kuyper, Mäder, Pulleman, Sukke, Groenigen y Brussaard, 2018), reflejándose en la disminución de la velocidad de infiltración del agua, lo cual puede provocar anegamientos en los suelos (Schoonover y Crim, 2015).

Existen diferentes métodos para estimar la D_a dentro de los que destacan:

1. El método del cilindro. Utilizado por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), dicha estimación termogravimétrica presenta la desventaja de requerir de un horno de alto costo y los resultados son obtenidos después de 24 horas (Salazar-Calvo, González-Venegas, Corrales-Valverde, Lacayo-Vega, Carrillo-Montoya y Montero-González, 2020).

2. Método coreano. Es una metodología *in situ*, se realiza en un periodo corto de tiempo, no emplea equipo especializado y es de bajo costo. Se basa en el principio de Arquímedes el cual indica que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje o fuerza vertical hacia arriba igual al peso del fluido expulsado, obteniéndose la proporción de la fase sólida, líquida y gaseosa, para posteriormente realizar el cálculo de la Da (Salazar-Calvo et al. 2020).
3. La NOM 021-RECNAT 2000, sugiere dos métodos de estimación: El método de la parafina y el método del picnómetro, ambos se calculan a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir, el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso.
4. Método de la probeta. En este método, se coloca suelo previamente pesado en la probeta graduada y tapada, se golpea un número determinado de veces sobre una superficie y se mide cuanto descendió del nivel original el volumen, estableciendo la relación entre el peso total y el volumen final en la probeta (Rosales, 2019).

Textura del suelo

Indica el contenido de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo. Esta variable influye directamente en otras variables como la Da, la porosidad, el movimiento y el almacenamiento de agua en el suelo (FAO, 2022).

Se calcula a través del uso del triángulo de texturas (Figura 2), en donde muestra las 12 clases texturales dentro del sistema propuesto por USDA, (1977) accediendo con los porcentajes de las fracciones granulométricas aportados por el análisis mecánico o análisis de textura (Figura 2).

Los suelos arcillosos almacenan dos veces más agua que un suelo arenoso, se puede regar con menos frecuencia; sufre menos pérdida de nutrientes por lixiviación; son más difíciles de labrar y son más susceptibles a la compactación; por lo tanto, se recomienda agregar materia orgánica como el compost, estiércol, abono verde y lombríhumus para mejorar la condición física del suelo (Schoonover y Crim, 2015).

El suelo franco se considera una textura ideal para los sistemas agrícolas, al presentar una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla, manifestándose en un equilibrio entre permeabilidad al agua, retención de agua y los nutrientes disponibles (Herrera, 2019).

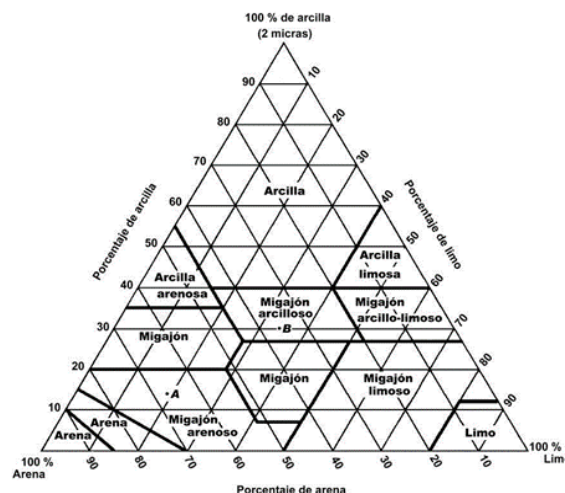


Figura 2. Triángulo de clases texturales (USDA, 1999).

Porosidad del suelo

Es un factor importante en la infiltración, conductividad hidráulica y retención de agua (Melendres, Zermeño, Ramírez, Cárdenas y Cadena, 2017). En el suelo se encuentran diferentes tamaños de poros con una función específica; los grandes y medianos facilitan la aireación del suelo, la infiltración del agua, permiten un equilibrio aire/agua, garantizan el desarrollo del cultivo, favorecen la absorción de nutrientes por las raíces y aumentan la actividad biológica del suelo. Los microporos retienen el agua en contra de la acción de la gravedad (Barragán, 2021).

La pulverización excesiva del suelo ocasiona una disminución del volumen de poros y la compactación de este, impidiendo la penetración de las raíces, reduciendo la circulación de oxígeno, agua, nutrientes y solutos a las plantas cultivadas; una labranza reducida favorece el mantenimiento de la continuidad de los macroporos (Barragán, 2021).

Estructura del suelo

Es la capacidad que tiene la masa de suelo de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas y tamaños, la cual se puede evaluar mediante la estabilidad de los agregados. Influye en el movimiento del agua y la retención hídrica, drenaje, aireación, penetración de las raíces, ciclo de nutrientes y rendimiento de los cultivos. Esta propiedad se asocia con la porosidad del suelo para determinar la capacidad de sostener la actividad agrícola (Rabot, Wiesmeier, Schlüter and Vogel, 2018); así mismo, es de importancia en el control de la erosión y el enraizamiento de las plantas (Bosch-Serra, Mateo-Marín, Molina, Poch y Boixadera-Bosch, 2022), favorece la infiltración, la retención de humedad, resistencia mecánica a la penetración, desarrollo de raíces, la aireación y la estabilidad ecológica (Martínez-Gamiño, Osuna-Ceja y Espinosa-Ramírez, 2019).

A continuación, se describe la clasificación de la estructura del suelo de acuerdo con la FAO (2022):

- 1) Estructuras granulares y migajosas. Partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. Facilitan la circulación del agua, por lo general, se encuentran en el horizonte A de los perfiles de suelos.
- 2) Estructuras en bloques o bloques subangulares. Partículas que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares, los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua, suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.
- 3) Estructuras prismáticas o columnares. Son partículas que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente, se encuentran en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.
- 4) Estructura laminar. Se compone de partículas agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra, a menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua, esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de arcilla.

Fertilidad química de los suelos agrícolas

Es la capacidad del suelo para proveer un ambiente químico apropiado y nutritivo para la producción, reproducción y calidad de plantas, de manera que soporte los procesos físicos y biológicos (Díaz-García, 2019). En este apartado se analizan los indicadores de mayor importancia acorde a Villalba-Martínez, Merino-García y Etchevers-Barra, (2020) que incluyen a: pH, materia orgánica del suelo (MOS), capacidad de intercambio catiónico (CIC), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Hierro (Fe) y principales microelementos.

Tabla I. Valores de referencia para la clasificación del suelo en relación con el valor del pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	<5.0
Moderadamente ácido	5.1-6.5
Neutro	6.6-7.3
Medianamente alcalino	7.4-8.5
Fuertemente alcalino	>8.5

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

El pH del suelo es una propiedad química que indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo en donde las raíces y los microorganismos toman sus nutrientes, siendo una escala de medición cuyo rango de fluctuación es de 0 a 14 y se basa en el principio de que la constante de equilibrio de la disociación del agua es 10^{-14} (Osorio, 12). Los suelos de reacción ácida poseen $\text{pH} < 5.5$; donde prevalece una elevada concentración de iones hidrógeno $[\text{H}^+]$, presentando limitaciones para el crecimiento de la mayoría de las plantas cultivadas, afectando principalmente la disponibilidad de algunos elementos como el P y la toxicidad debido a la presencia de Al^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y NO_3 , que liberan H^+ a la solución del suelo (Delgado et al. 2018), provocando un efecto antagónico para los cultivos agrícolas (Martínez-Rodríguez, Can-Chulim, Ortega-Escobar, Bojórquez-Serrano, Cruz-Crespo, García-Paredes y Madueño-Molina, 2021). La NOM-021-RECNAT-2000 indica su medición con un método electrométrico en agua destilada en una suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo-agua 1:2, cuyos valores de referencia se muestran en la Tabla I.

Los factores que contribuyen con la acidificación de los suelos son: el material parental, laboreo intensivo que favorece la remoción de Ca, Mg y K, aplicación de fertilizante de reacción ácida y la lixiviación de bases intercambiables, por mencionar algunos (Martínez-Rodríguez et al. 2021). La aplicación de carbonatos, óxidos, hidróxidos, y silicatos de calcio o magnesio se denomina encalado y permite aumentar el pH de los suelos, mejorando la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana (Mañana,

Covacevich, Sainz, Barbieri y Giselle-Commatteo, 2021).

Materia orgánica del suelo (MOS)

Es parte de la estructura del suelo y participa en procesos como la retención de agua, desintoxicación de sustancias químicas antropogénicas, secuestro de carbono, el ciclo de los nutrientes y el suministro de energía a los microorganismos del suelo (Barrezueta-Unda, Cervantes-Alava, Ullauri-Espinoza, Barrera-León y Condoy-Gorotiza, 2020). Si el contenido de MO es alto, la fertilidad del suelo suele ser alta, asociada a la liberación de N, P y S, y que por su acción quelante, está relacionada con la disponibilidad de Fe, Mn, Cu y Zn, debiéndose tomar en cuenta el pH del suelo, ya que, en pH ácido, se dificulta la disposición de los elementos mencionados (Martínez-Rodríguez et al. 2021). Para la determinación de la MOS se utiliza el método propuesto por Walkley y Black expresado en porcentaje (%) y se basa en la oxidación húmeda de la muestra de suelo con dicromato de potasio en una solución ácida (NOM-021-RECNAT-2000).

La degradación del suelo y, en particular, la pérdida de la fracción orgánica, y de la biodiversidad de este, son algunos de los problemas ambientales de mayor gravedad de este siglo que, junto con los efectos del cambio climático, plantea serios riesgos para la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres y la seguridad alimentaria mundial (Timmis y Ramos, 2021). En la Tabla 2 se detallan los valores de referencia de la MOS en los diferentes tipos de suelos.

Tabla 2. Valores de referencia para clasificar la concentración de materia orgánica en suelos minerales y volcánicos.

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0

Fuente: NOM-021-REC NAT-2000.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la carga eléctrica negativa de las arcillas y materia orgánica del suelo y puede ser permanente o dependiente del pH del suelo (López-Báez, Reynoso-Santos, López-Martínez, Villar-Sánchez, Camas-Gómez y García-Santiago, 2019). Representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH_4^+) para ser intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces (FAO, 2022).

Para la determinación de la CIC la NOM-021-REC NAT-2000 establece que se realizará

empleando acetato de amonio IN a pH 7.0 como solución saturante (Tabla 3).

Los principales iones asociados con la CIC en los suelos son los cationes intercambiables calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+) (Ortiz, 2020). Una baja CIC indica una baja habilidad de retener nutrientes en el suelo, ocasionando una mayor probabilidad de desarrollar deficiencias de potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) entre otros cationes; mientras que los suelos con una CIC alta son menos susceptibles a la lixiviación de cationes, estas características predominan en suelos arcillosos o con una alta cantidad de materia orgánica (FAO, 2020).

Tabla 3. Interpretación de resultados de la CIC.

Clase	CIC ($\text{Cmol}(+) \text{kg}^{-1}$)
Muy alta	> 40
Alta	25-40
Media	15-25
Baja	5-15
Muy Baja	>5

Fuente: NOM-021-REC NAT-2000.

Contenido de macroelementos disponibles en los suelos

El N es un elemento indispensable para la nutrición de las plantas que pocas veces se encuentra presente en cantidades suficientes en el suelo para satisfacer las necesidades de los cultivos, comprende la suma del nitrógeno orgánico y amoniacal (López-Choque, 2020). La cantidad de

N que retorna al suelo luego de su mineralización contribuye con su disponibilidad para las plantas, parte del N que está contenido en las enmiendas debe ser mineralizado antes de que sea disponible, pues este N en la rizósfera continuamente recircula entre varias formas orgánicas no disponibles e inorgánicas disponibles (Pérez-Mesa, 2018).

Por otra parte, puede ocurrir la pérdida de N a través de procesos de desnitrificación y lixiviación, generando emisión de gases de efecto invernadero y eutrofización en los cuerpos de agua (Monsalve, Gutiérrez y Cardona, 2017). Existe relación estrecha entre el ciclo del C y el del N, debido a su acumulación en la materia orgánica del suelo, por lo que se le debe de dar importancia al contenido de N como factor principal en la productividad agrícola (Paramo, Rodríguez y Siachoque, 2022).

El fósforo (P) es un nutriente esencial para las plantas, animales y microorganismos en la forma de iones fosfatos PO_4^{3-} y HPO_4^{2-} . Forma parte de moléculas claves como el ADN, ARN, moléculas que transfieren energía como ATP, ADP, AMP, NAD(P) y de los lípidos de las membranas celulares (Nazareno et al. 2019). Estimula el desarrollo radicular, el crecimiento de las plantas y la fijación del nitrógeno por las leguminosas (Lima-Molina, Aguirre-Terrazas y Flores-Mariaza, 2020).

El ortofosfato inorgánico (Pi) es la única forma de P que se puede transportar a través de la membrana plasmática de las plantas y de los hongos (Ciapparelli, Fabrizio de Iorio, Santos y García, 2019). Su determinación se realiza mediante el procedimiento de Olsen y colaboradores para suelos neutros y alcalinos, y por el procedimiento de Bray y Kurtz para suelos neutros y ácidos (NOM-021-RECNAT-2000) (Tabla 4).

El potasio (K) cumple un papel importante en la translocación de azúcares, la formación de

almidón, la apertura y cierre de estomas (Willey, 2016), interviene en el crecimiento vegetativo, fructificación, maduración y calidad de los frutos, en la activación de más de 60 enzimas que actúan en diferentes procesos metabólicos; por ejemplo, la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y carbohidratos (Taiz, Zeiger, Møller and Murphy, 2015).

En el suelo se encuentra en cuatro formas disponibles: en solución, intercambiable, no intercambiable y mineral. La cantidad de K^+ en la solución del suelo es mínima y rápidamente es absorbido por las plantas por estar inmediatamente disponible. Cuando el K^+ es absorbido y extraído por las plantas, es renovado y restituido inmediatamente por la cesión de formas menos accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo (INTAGRI, 2017).

La adición de cal permite remover el Al de los sitios intercambiables incrementando la disponibilidad de K^+ y otras bases intercambiables (Martínez-Rodríguez et al. 2021).

Entre los factores que determinan la disponibilidad de K^+ en el suelo se encuentran la cantidad y el tipo del mineral arcilloso, la CIC, el contenido del K^+ intercambiable, la capacidad del suelo para fijar el K^+ , humedad, temperatura, aireación, pH y la textura del suelo (Sadeghian-Khalajabadi y Arias-Suárez, 2018).

Tabla 4. Valores de referencia para clasificar la concentración de fósforo en suelos de acuerdo con la metodología empleada en su determinación.

Clase	P (Olsen)	P (Bray y Kurtz)
		mg kg^{-1}
Bajo	< 5.5	< 15
Medio	5.5-11	15-30
Alto	> 11	> 30

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

El calcio (Ca) es un catión divalente (Ca^{2+}), requerido para varios roles estructurales en las paredes celulares y en las membranas celulares. Es un contra catión para aniones orgánicos e inorgánicos en la vacuola y la concentración de Ca^{2+} citosólico funciona como mensajero intracelular coordinando respuestas a numerosas señales de desarrollo y a cambios ambientales (Maldonado-Torres, Álvarez-Sánchez, Abarca-Cervantes y Almaguer-Vargas, 2020).

Sus funciones principales son como un factor metabólico o cofactor en varias actividades celulares, participa en la regulación de la reproducción sexual en las flores, en la germinación y elongación de los tubos de polen, la expansión celular en la maduración de frutos, en la despolimerización de pectinas y la degradación de xiloglucano, relacionados con la maduración de los frutos (Hocking, Tyerman, Burton and Gilliam, 2016).

En postcosecha, el Ca^{2+} es importante debido a su participación en las paredes celulares de los frutos, 60-75 % del total del fruto y que contribuye a su vida postcosecha, se ha reportado que su deficiencia está relacionada con el suministro requerido y adecuado en la etapa de crecimiento (Rivera, Ferreyra, Robledo, Selles, Arpaia, Saavedra y Defilippi, 2017).

El magnesio (Mg) se encuentra dentro de los materiales arcillosos del suelo y está asociado con el intercambio de cationes en la superficie de las arcillas, para volverse soluble, el Mg adsorbido en las partículas de arcilla debe ser reemplazado por un catión presente en la solución del suelo, requiriéndose dos iones de K^+ para reemplazar a

un ion de Mg^{2+} (Naranjo, García-Ocampo y Quiceno, 2018).

El Mg y el Ca son importantes para aliviar la toxicidad de Al en suelos ácidos (Ramos-Oseguera, Castro-Ramírez, León-Martínez, Álvarez-Solís y Huerta-Lwanga, 2019). Se enlistan los valores de referencia en suelos en relación con el contenido de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en suelos (Tabla 5).

El aluminio (Al) origina acidez en el suelo por la presencia de iones Al^{3+} e hidrógeno (H^+), por lo que la reducción del pH afecta a las características químicas y biológicas del suelo, reduciendo el crecimiento de las plantas y disminuyendo la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, P y K; y favorece la acumulación de elementos tóxicos para las plantas como Al^{3+} y Mn (Calva y Espinosa, 2017).

El Hierro (Fe) es un micronutriente requerido por las plantas en cantidades menores comparado con los macronutrientes primarios. Está presente en dos estados de oxidación Fe^{2+} y Fe^{3+} (López, Cacoub, Macdougall, and Peyrin-Biroulet, 2016). Participa en la síntesis de hemoglobina, mioglobina, citocromos, enzimas y es esencial para la respiración, la función mitocondrial y producción de energía (Boutchuen, Zimmerman, Aich, Mohammad, Arabshahi and Palchoudhury, 2019); asimismo, es esencial para el grupo protésico de enzimas involucradas en la proliferación celular (Camaschella, 2017).

Tabla 5. Valores de referencia para la clasificación de suelos en relación con el contenido de N, K, Ca y Mg.

Clase	N (%)	K (Cmol(+) kg^{-1})	Ca (Cmol(+) kg^{-1})	Mg (Cmol(+) kg^{-1})
Muy bajo	<0.05	<0.2	<2	<0.5
Bajo	0.05-0.10	0.2-0.3	2-5	0.5-1.3
Medio	0.10-0.15	0.3-0.6	5-10	1.3-3.0
Alto	0.15-0.25	>0.6	>10	>3.0
Muy alto	>0.25			

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

El cobre (Cu) es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, participa en numerosos procesos fisiológicos y un cofactor esencial para muchas metaloproteínas (Valdivia, Acebedo, Armas, Custodio, García, Gonzales y Vásquez, 2018). El exceso de cobre en el suelo puede producir efectos tóxicos sobre las plantas, inhibir el crecimiento de la parte aérea y de la raíz, causar clorosis de hojas e incrementar la liberación de electrolitos de las células por daño a las membranas celulares (Ruscitti, 2017).

El Cu se absorbe como catión divalente (Cu^{2+}) en suelos aireados y como ion cuproso (Cu^+) en suelos pobres en oxígeno o inundados, la forma divalente forma quelatos fácilmente con varios componentes del suelo, juega un rol importante en la asimilación de CO_2 y la síntesis de ATP, es componente esencial de varias proteínas como la plastocianina que interviene en el sistema fotosintético y enzimas como la citocromo oxidasa involucrada en la cadena transportadora de electrones en las crestas mitocondriales, en la respiración celular (Colorado, Alvarado y Romero, 2012).

Los micronutrientes zinc, boro, molibdeno, manganeso y cloro están disponibles limitadamente en suelos calcáreos alcalinos típicos de las zonas áridas del norte de México a pesar de que las plantas requieren cantidades pequeñas de microelementos (Maciel-Torres, Figueroa-Viramontes, Jacobo-Salcedo, Pedroza-Sandoval, Trejo-Calzada y Encerrado-Alva, 2017); quizá se deba a que dichos elementos forman compuestos poco solubles en el suelo (Begum, Bordoloi, Singha y Ojha, 2018).

Existen valores de referencia en suelos para los microelementos fierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B) (Tabla 6).

El suelo requiere un suministro constante de todos los nutrientes, incluidos los microelementos, ya que su déficit puede convertirse en un factor que repercute en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Salgado-Pacheco, Myazin-Georgievich, Kozhokina-Nikolaevna y Brekhov-Timofevich, 2021); sobre todo en los periodos de floración y en la formación de frutos en los cuales el consumo de nutrimentos es más intenso (Peña y Cruz, 2020).

Tabla 6. Valores de referencia para la clasificación de suelos en relación con el contenido de Fe, Cu, Zn, Mn y B.

Clase	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	mg kg ⁻¹				
Deficiente	<2.5	<0.2	<0.5	<1.0	<0.39
Marginal	2.5-4.5		0.5-1.0		0.39-0.79
Adecuado	>4.5	>0.2	>1.0	>1.0	0.8-1.29
Alto					1.30-2.10
Muy alto					>2.10

Fuente: NOM-021-RECNAT-2000.

Fertilidad biológica de los suelos agrícolas

Actualmente, los parámetros biológicos del suelo tienen gran relevancia en la interpretación de la fertilidad del suelo a nivel mundial (Gonzales-Torrico, Pacasa-Quisbert y Hurtado-Barrero, 2022), aportan considerables cantidades de biomasa al suelo mejorando sus propiedades físicas (Calderón-Medina, Bautista-Mantilla y Rojas-

González, 2018). Dentro de las principales variables que se consideran para los estudios de fertilidad biológica de suelos se consideran las siguientes:

1. El carbono orgánico del suelo (COS). Es el componente mayoritario de la MOS (Dabadie, Pérez, Arturi, Goya y Sandoval,

- 2018). Se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, ya que influye en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, que definen su fertilidad y capacidad productiva (Sánchez, Harwood, Willson, Kizilkaya, Smeenk, Parker, Paul, Knezek and Robertson, 2004). Se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes del suelo, modifica la acidez y la alcalinidad hacia valores cercanos a la neutralidad, aumenta la solubilidad de varios nutrientes, asociado a la MOS, proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, modifica la estructura y distribución del espacio poroso del suelo (Amores, 2020), mejora la retención de humedad y contribuye con estabilidad de suelos arcillosos al ayudar a aglutinar las partículas para formar agregados, forma parte fundamental del ciclo de carbono y tiene gran importancia en la mitigación a los efectos del cambio climático (FAO, 2022).
2. Biomasa microbiana en suelos. Es usada para medir parte del carbono orgánico contenido en el suelo, siendo ésta una medida indirecta de la cantidad de microorganismos existentes que permite reconocer los cambios ocurridos en el ambiente edáfico que es usada como un indicador de calidad y fertilidad del suelo y

sirve como almacenamiento (inmovilización) y fuente (mineralización) de nutrientes para los cultivos a través de procesos de inmovilización y mineralización (Sabahi, Veisi, Soufizadeh y Asilan, 2010).

3. Actividad microbiana del suelo. La mineralización de N, producto de la actividad microbiana, sigue la misma tendencia mostrada en la respiración, lo que indica que hay una relación directa entre actividad microbiana y tasa de mineralización de N (Abbasi y Khizar, 2012).
4. Ciclo del N en el suelo. Se relaciona con la actividad microbiana y fauna del suelo como las lombrices, nematodos, protozoarios, hongos, bacterias y artrópodos (Figura 3). La biología del suelo juega un papel fundamental en la composición del suelo y sus características, los procesos de descomposición de la materia orgánica y el almacenamiento de nutrientes que se encuentran dentro de los organismos del suelo impidiendo su pérdida por lixiviación (FAO, 2022).

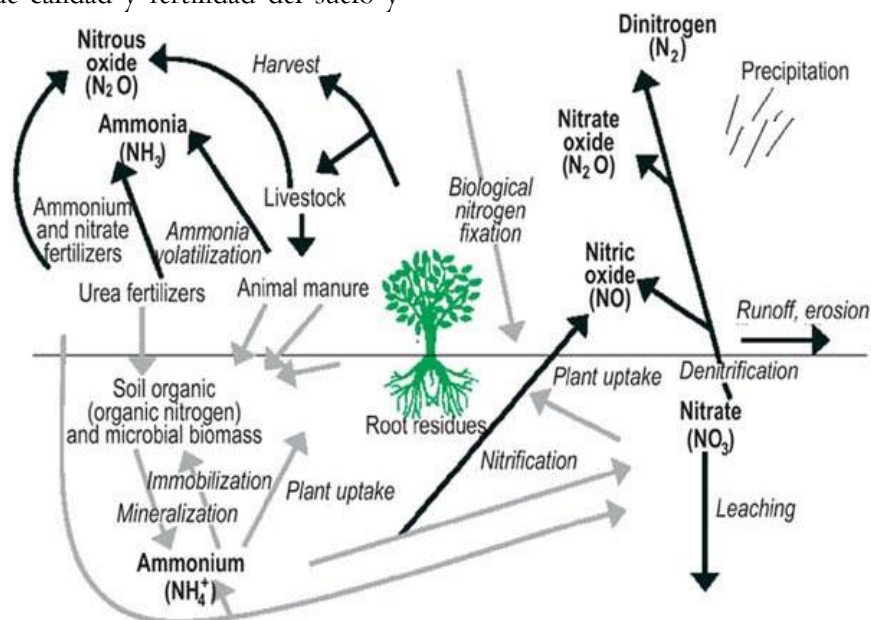


Figura 3. Ciclo del N y su importancia en el suelo (FAO, 2022).

5. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N). La tasa de mineralización de N depende de su relación C/N y la capacidad de descomposición, origen y tratamiento de los materiales, método o duración del compostaje y de las condiciones ambientales del suelo (Antil, Bar-Tal, Fine and Hadas, 2011). Si la cantidad de N presente en los residuos orgánicos descompuestos es más alta que la requerida por los microorganismos, habrá mineralización neta con liberación de N inorgánico; si la cantidad de N en los residuos es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta; si la cantidad de N presente en los residuos es más pequeña que la requerida por los microorganismos, se requerirá inmovilización de N inorgánico adicional, proveniente del suelo; algunos estudios muestran que la relación C/N que genera un punto de equilibrio entre mineralización e inmovilización neta de N puede estar entre 20 y 40 (Mendoza et al. 2017).
6. El ciclo del Carbono. Los organismos que viven en el suelo son factores determinantes

para la circulación de nutrientes y del carbono en el suelo, una gran parte de la materia orgánica originada por la descomposición anual de los residuos vegetales se acumula en la superficie del suelo o en la zona radicular y se consume casi por completo por los organismos del suelo creando así una reserva de carbono con una rápida tasa de renovación, en muchos casos, entre 1 a 3 años (FAO, 2022) (Figura 4).

Los subproductos de este consumo microbiano resultan en emisiones de dióxido de carbono, (CO_2) y agua (H_2O), y una variedad de compuestos orgánicos designados como humus compuesto por sustancias difíciles de degradar resultando lento su descomposición (Colín, 2018). Los microorganismos del suelo disponen alta sensibilidad al contenido de carbono orgánico en el suelo tal como a la temperatura y tenor de agua por lo que aumentan la respiración en tenores elevados de carbono, temperaturas elevadas y condiciones más húmedas en el suelo (FAO, 2022).

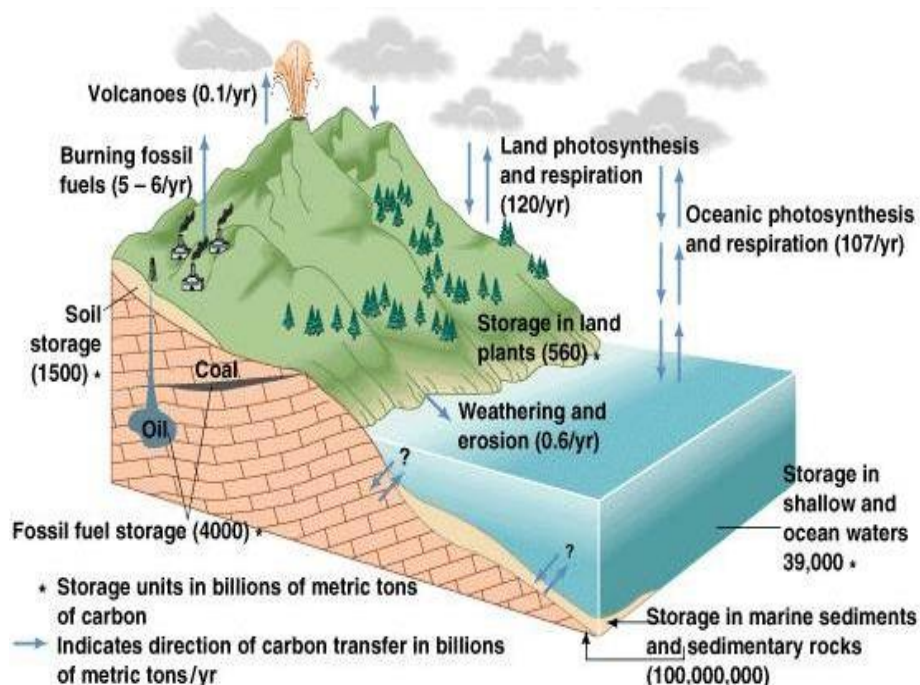


Figura 4. Importancia del ciclo del Carbono en el suelo (FAO, 2022).

7. Microorganismos asociados al suelo. Abbott y Murphy (2017) reportaron la importancia de la vida microbiológica del suelo en su recuperación, evidenciaron el aumento de la población microbiana por efecto de los años de descanso, de la misma manera notaron la mayor abundancia microbiana en suelos con cobertura vegetal, interviniendo en los procesos que dan origen a la fertilidad del suelo. El papel principal de los microorganismos del suelo es proveer servicios ecosistémicos, como la purificación de agua, el aumento de la fertilidad del suelo, la nitrificación, descomposición y degradación, ciclo de nutrientes especialmente N, S y P. Lo anterior debido a que un gramo de suelo contiene 105-108 bacterias, 106-107 actinomicetos y 105-106 hongos UFC, los cuales liberan los nutrientes en los suelos (Hidalgo, Álvarez-Méndez, Navarro-Fernández, Cara-García y Pérez-Ramos, 2018). Un descenso del pH por adición de nitrógeno podría afectar en la lixiviación de micronutrientes, carbón orgánico; y la reducción de la biomasa microbiana (Herrera, 2019). Los microorganismos son relevantes en los ciclos biogeoquímicos por la descomposición de la MO, intervienen en los ciclos del N, la fijación del N, nitrificación, desnitrificación, en el ciclo del P, los microorganismos contribuyen a su solubilización, donde están involucrados diversidad de bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos asociados a las raíces de las plantas cultivadas (García-Velásquez, 2017).

La mayor abundancia de hongos se encuentra en las capas superficiales del suelo, donde el microclima, ambiente y disponibilidad de recursos nutricionales son favorables para su desarrollo y crecimiento (Bertolini, Montaña, Chimal-Sánchez, Varela-Fregoso, Gómez-Ruiz y Martínez-Vázquez, 2018). Decrecen con la profundidad y condiciones desfavorables del suelo, tanto de origen natural como antropógeno. Un grupo son los hongos micorrícicos arbusculares

(HMA) que producen y liberan al suelo una glicoproteína cementante de los agregados estables al agua denominada glomalina, la cual pasa a formar parte de la MO edáfica, por lo que ha sido asociada al mantenimiento de la estructura del suelo, así como al secuestro de carbono (Mañana et al. 2021).

Las bacterias del suelo son responsables de la inmovilización, mineralización de N del suelo y de los procesos que controlan el suministro de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) para las plantas. La mineralización ocurre en dos etapas, en la primera, los microorganismos transforman los componentes de N orgánico en NH_4^+ ; y la segunda, en la que se sintetiza nitrato (NO_3^-) a partir del amonio. Específicamente, los organismos autótrofos convierten el N orgánico en NH_4^+ a través de la amonificación; mientras que los organismos heterótrofos transforman el NH_4^+ a NO_3^- , en un proceso denominado nitrificación $[(1) \text{NH}_4^+ + \text{O}_2 = \text{NO}_2^- + 4\text{H}^+; (2) \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} = \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+]$ $[(1)\text{NH}_4^+ + \text{O}_2 = \text{NO}_2^- + 4\text{H}^+, (2)\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} = \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+]$ (He y Zhang, 2014).

COMENTARIOS FINALES

El monitoreo y registro del estado de la fertilidad del suelo es de suma importancia en todo sistema agrícola, ya que los rendimientos dependen en gran medida de la capacidad del suelo para proveer a la planta todos los nutrientes necesarios para su desarrollo y producción.

Aunque los estudios de fertilidad de suelos son poco usuales, tardados y costosos en la agricultura tradicional se recomienda realizarlos previo al establecimiento de cultivos agrícolas, puesto que el desconocimiento puede provocar graves problemas en la producción, rendimiento y degradación de los suelos.

El contar con información disponible permitirá a los productores, científicos y responsables de la

producción agropecuaria, implementar estrategias de mejora y manejo de los suelos agrícolas a partir del conocimiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas para contribuir en la autosuficiencia, seguridad y soberanía alimentaria de los agricultores.

REFERENCIAS

- Abbasi, M. K. and Khizar, A. (2012). Microbial biomass carbon and nitrogen transformations in a loam soil amended with organic-inorganic N sources and their effect on growth and N uptake in maize. *Ecological Engineering*, 39, 123-132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.027>
- Abbott, L.K. and Murphy, D. V. (2017). What is soil biological fertility? In: *Soil Biological Fertility A Key to Sustainable Land Use in Agriculture*. Dordrecht, The Netherlands. Springer. pp. 1-15.
- Amores, M. M. (2020). Efecto de prácticas de manejo del suelo y sus interacciones en la dinámica del carbono orgánico del suelo: Revisión de Literatura. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6738>
- Antil, R. S., Bar-Tal, A., Fine, P. and Hadas, A. (2011). Predicting nitrogen and carbon mineralization of composted manure and sewage sludge in soil. *Compost Science & Utilization* 19, 33-43. DOI: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736974>
- Barragán, V. J. (2021). Evaluación de tres tecnologías de preparación del suelo con tres densidades de siembra del cultivo de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ingeniería en Agronomía, Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23266>
- Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera-León, J. y Conday-Gorotiza, A. (2020). Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el Oro-Ecuador. *FAVE Ciencias Agrarias* 19 (2). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SI666-77192020000200025&lng=es&tlng=es
- Begum, M., Bordoloi, B.C., Singha, D.D. y Ojha, N.J. (2018). Papel del extracto de algas marinas en el crecimiento, rendimiento y calidad de algunos cultivos agrícolas: una revisión. *Revisiones agrícolas* 39(4): 321-326. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.007>
- Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal-Sánchez, E., Varela-Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., y 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.27946>
- Bosch-Serra, À. D.; Mateo-Marín, N., Molina, M. G., Poch, R. M. y Boixadera-Bosch, M. M. (2022). Cambios en la porosidad del suelo asociados a la fertilización con purín porcino. ITEA-Información Técnica Económica Agraria, 2022, vol. 118, núm. 4, p. 518-529. DOI: <https://doi.org/10.12706/itea.2022.008>
- Boutchuen, A., Zimmerman, D., Aich, N., Mohammad, M. A., Arabshahi, A. and Palchoudhury, S. (2019). Increased plant growth with hematite nanoparticle fertilizer drop and determining nanoparticle uptake in plants using Multimodal Approach. Hindawi, *Journal of Nanomaterials*, 2019, 11. Article ID 6890572. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/6890572>
- Bünemann, E., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukke, W., Groenigen, J., y Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. DOI:

- <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P. y Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Calva, C. y Espinosa, J. (2017). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. *Siembra*, 4(1), 110-120. DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.505>
- Ciapparelli, I. C., Fabrizio de Iorio, A. R., Santos, C. N. y García, A. R. (2019). Efecto de elevadas dosis de estiércol bovino sobre el grado de saturación de fósforo de un suelo en Pampa Ondulada. En: V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU). La Plata, Buenos Aires, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77316>
- Cid-Lazo, G., López-Seijas, T., Herrera-Puebla, J. y González-Robaina, F. (2021). Variación de la densidad aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos. *Revista de Ingeniería Agrícola*, 11(2). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586266250001>
- Colín Velázquez, V. H. (2018). Actividad respiratoria y enzimáticas en un suelo de cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum*) enmendado con lombricomposta. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/98958>
- Colorado, R. R. H., Alvarado, A. L. y Romero, R. M. (2012). Acumulación de cobre en plantas silvestres de zonas agrícolas contaminadas con el metal. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 28(1-2). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/oai>
- Cotler, H., Corona, J. A. y Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas, IOI*, e59976. Epub 02 de octubre de 2020. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Dabadie, M., Pérez, C., Arturi, M., Goya, J. y Sandoval, M. (2018). Calibración del método de pérdida de peso por ignición para la estimación del carbono orgánico en Inceptisoles del NE de Entre Ríos. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 117(1), 157-162. <https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7330>
- Díaz-García, P. (2019). Evaluación de la fertilidad química y bioquímica del suelo con diferentes estrategias de riego deficitario en olivo y almendro. Universidad de Sevilla.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Propiedades químicas de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *Propiedades químicas de los suelos*. Roma, Italia. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>
- García-Velázquez, L. y Gallardo, A. (2017). El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. *Ecosistemas*, 26(1), 4-6. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.02>
- Gonzales-Torrico, E. M., Pacasa-Quisbert, F. y Hurtado-Barrero, J. (2022). Sistemas de producción biointensiva y tradicional sobre parámetros agronómicos de hortalizas. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 10(1), 57-65. DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2022.100100057>
- Guzmán Duchén, D. y Montero Torres, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101. DOI: <https://doi.org/10.53287/uyxf4027gf99e>

- Herrera-Díaz, A. M. (2019). Composición y abundancia de invertebrados y microorganismos indicadores del proceso de descomposición de materia orgánica del suelo, en relación a prácticas agronómicas en ocho fincas con cultivos de palma de aceite en la zona Oriente de Colombia. Tesis de grado. Universidad La Salle, Colombia. <https://ciencia.lasalle.edu.co/biologia/69/>
- He, Z. and H. Zhang. 2014.(Eds). *Applied manure and nutrient chemistry for sustainable agriculture and environment*. Springer, New York, USA. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8807-6>
- Hidalgo, M. D., Álvarez-Méndez, A., Navarro-Fernández, C. M., Cara-García, J. S. y Pérez-Ramos, I. M. (2018). Impacto del clima sobre la morfología radicular y su interacción con la microbiota del suelo en ecosistemas de dehesas: una aproximación multifuncional. Producción CSIC. II Simposio del Grupo de Trabajo "Interacciones Planta-Suelo" Poster PI-2, pág. 15. <http://hdl.handle.net/10261/171611>
- Hocking, B., Tyerman, S. D.; Burton, R. A. and Gilliam, M. (2016). Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers Plant Science* 7, 569. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00569>
- Hueso-González, P., Muñoz-Rojas, M. and Martínez-Murillo, J. F. (2018). The role of organic amendments in drylands restoration. Current Opinion In: *Environmental Science and Health* 5:1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.301>
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (INTAGRI). (2017). Fijación de potasio en el suelo. Serie Suelos Núm. 31. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sintomas-visuales-de-deficiencia-de-fosforo-en-los-cultivos>
- Lima-Molina, N., Aguirre-Terrazas, L. y Flores-Mariaza, E. (2020). Strategies to improve high andean rangelands: the role of clover and phosphorous fertilization. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(2). DOI: <https://doi.org/dx.doi.org/10.15381/rive.v31i1.17840>
- López, A., Cacoub, P., Macdougall, I. C. and Peyrin-Biroulet, L. (2016). Iron deficiency anaemia. *The Lancet* 387(10021), 907-916. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60865-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60865-0)
- López-Báez, W., Reynoso-Santos, R., López-Martínez, J., Villar-Sánchez, B., Camas-Gómez, R. y García-Santiago, J. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10: 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- López-Choque, M. A. (2020). Validación del método kjeldahl para la determinación de nitrógeno total en suelos agrícolas del departamento de La Paz (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/browse?type=author>
- Maciel-Torres, S., P., Figueroa-Viramontes, U., Jacobo-Salcedo, M. D. R.; Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R. and Encerrado-Alva, R. C. (2017). Micronutrients in castor-oil plants (*Ricinus communis* L.) growing in soil fertilized with biosolids. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(2), 13-22. DOI: <https://doi.org/10.5154/r.rchza.2017.10.007>
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Abarca-Cervantes, A. D. y Almaguer-Vargas, G. (2020). Cambios celulares en hojas de aguacate con deficiencias de calcio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(1), 13-23. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2209>
- Martínez-Gamiño, M. A., Osuna-Ceja, E. S. y Espinosa-Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(4),

- 765-778. Epub 22 de mayo de 2020. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Martínez-Rodríguez, O., Can-Chulim, Á., Ortega-Escobar, H., Bojórquez-Serrano, J., Cruz-Crespo, E., García-Paredes, J. y Madueño-Molina, A. (2021). Fertilidad e índice de calidad del suelo de la cuenca del río San Pedro en Nayarit. *Terra Latinoamericana*, 39, e766. Epub 17 de junio de 2021. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.766>
- Mañana, B., Covacevich, F., Sainz R., Barbieri, A. y Giselle-Commatteo, J. A. (2021). Encalado en suelos agrícolas acidificados de la región Pampeana: efecto sobre actividad de hongos micorrícicos. *Ciencia del Suelo*, 39(1). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SI85020672021000100020&lng=es&tlng=es.
- Melendres, A. I., Zermeno, A., Ramírez, H., Cárdenas, J. O. y Cadena, M. (2017). Eficiencia del uso del agua de un viñedo y su relación con porosidad del suelo. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(5), 57-69. DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-04>
- Mendoza, L. G., Vera, V., Giler, J. M. y Simbaña, K. (2022). Características fisicoquímicas de suelos de uso agrícola y forestal. Caso: San Pablo de Tarugo, Chone-Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 16(1). <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37932>
- Monsalve-C., O.I., Gutiérrez, D., J.S. y Cardona, W. A. 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200–209. DOI: <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo, M., and Lucas-Borja, M. E. (2021). Soil biodiversity and organic carbon are essential to reverse desertification. *Ecosistemas*, 30 (3), 2238. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2238>
- Naranjo, G., García-Ocampo, A. y Quiceno, J. (2018). Efectos de varias dosis de magnesio aplicadas al suelo sobre el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Cacaotero Colombiano*, 14. p. 26-39. DOI: <https://doi.org/hdl.handle.net/20.500.12324/21924>
- Norma Oficial Mexicana (NOM-021-RECNAT-2000). *Metodologías de análisis de suelo en México*. Segunda sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280.pdf>
- Núñez-Peñaloza, J. L., Cristóbal-Acevedo, D., Hernández-Acosta, E. y Villanueva-Morales, A. (2022). Efecto de tres sistemas de producción sobre el estado de la fertilidad física del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(72), 55-81. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i72.1279>
- Orellana-Salas, J. A. y Lalvay-Portilla, T. C. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 14(1), 65-79. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2018000100065>
- Paramo, G. E., Rodríguez, H. S. y Siachoque, R. F. (2022). Incorporación de la evaluación de servicios ecosistémicos (Captura de carbono y aporte potencial de nitrógeno) como parte de la planificación del uso eficiente del suelo. *Suelos Ecuatoriales*, 52(1y2), 51-70. DOI: [https://doi.org/10.47864/SE\(52\)2022p51-70_156](https://doi.org/10.47864/SE(52)2022p51-70_156)
- Peña, R. y Cruz, A. (2020). Aplicación de bioestimulantes con microelementos en el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis* F.): Rendimiento, calidad y rentabilidad económica. *Manglar*, 17(1), 39-46. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2020.007>
- Pérez-Mesa, A. (2018). Verificación y estandarización de métodos fisicoquímicos para la determinación de nitrógeno total,

- nitrógeno amoniacal y sulfuros en matrices de aguas crudas y residuales. Universidad de Antioquia. 18 p.
<https://hdl.handle.net/10495/13153>
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S. and Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma* 314: 122-137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- Ramos-Oseguera, C. A., Castro-Ramírez, A. E., León-Martínez, N. S., Álvarez-Solís, J. D. y Huerta-Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*, 37(1), 45-55. DOI: <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>
- Rivera, S. A., Ferreyra, R., Robledo, P., Selles, G., Arpaia, M. L., Saavedra, J. and Defilippi, B.G. (2017). Identification of preharvest factors determining postharvest ripening behaviors in 'Hass' avocado under long term storage. *Scientia Horticulturae*, 216:29-37. DOI:10.1016/S0140-6736(15)60865-0
- Rosales-Neri, Y. (2019). *Densidad aparente y cuantificación de carbono y nitrógeno en suelos con caña de azúcar en Morelos y Puebla, México*. (Master's thesis) Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
<http://hdl.handle.net/10521/3912>
- Ruscitti, M. (2017). *La micorrización modifica la respuesta de las plantas de pimienta en presencia de cobre en el suelo*. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/60324>
- Sabahi, H., Veisi, H., Soufizadeh, S. y Asilan, K. S. (2010). Effect of fertilization systems on soil microbial biomass and mineral nitrogen during Canola (*Brassica napus* L.) development stages. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 41, 1665-1673: DOI: 10.1080/00103624.2010.489132
- Sadeghian-Khalajabadi, S. y Arias-Suarez, E. (2018). Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 16. No. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.632>
- Salazar-Calvo, C., González-Venegas, J. P., Corrales-Valverde, D., Lacayo-Vega, J., Carrillo-Montoya, K. y Montero-González, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5 - 12. DOI: <https://doi.org/10.35486/at.v13i1.164>
- Salgado-Pacheco, T., Myazin-Georgievich, N., Kozhokina-Nikolaevna, A. y Brekhov-Timofevich, P. (2021). El efecto de los microelementos sobre la germinación de semillas y el rendimiento de la masa verde de trigo de invierno en el periodo vegetativo. *Revista Prisma Tecnológico*. 12(1), 54-59. DOI: <https://doi.org/10.33412/pri.v12.1.2846>
- Sánchez, J. E.; Harwood, R. R.; Willson, T. C.; Kizilkaya, K.; Smeenk, J.; Parker, E.; Paul, E. A.; Knezek, B. D. and Robertson, G. P. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomy Journal*, 96(3):769-775. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0769>
- Schoonover, J., y Crim, J. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research & Education* 15(1): 21-17. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>
- Taiz, L., Zeiger, I., Møller, M. and Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. 6 ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 761 p. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173165866>
- Timmis, K., Ramos, J. L. (2021). The soil crisis: the need to treat as a global health problem and the pivotal role of microbes in prophylaxis and therapy. *Microbial Biotechnology* 4(3):769-797. DOI: 10.1111/1751-7915.13771
- Urriola S. L. (2020). ¿Por qué estudiar las propiedades físicas del suelo? *Revista Semilla*

- del Este, I(1), 23-26.
https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/2020
- United States Department of Agriculture. (USDA). (1999). Natural resources conservation service. Plants Database. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/ProcedureForRibeyeApproval2003.pdf>
- Valdivia, J. E. G., Acebedo, J., Armas, C., Custodio, M., García, M., Gonzales, A. y Vásquez, M. (2018). Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; “girasol, alfalfa, geranio e higuera”. *Searching-science*, I(1), 12-12. <https://revista.uct.edu.pe/index.php/science/article/view/132/409>
- Vega-Blancas, V. J., Fernández-Reynoso, D. S., Macedo-Cruz, A., Ríos-Berber, J. D. y Ruiz-Bello, A. (2022). Análisis de la fertilidad del suelo mediante la validación e interpolación Kriging de sus variables. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-12. e1573. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1573>
- Valera, Á. R. V., Rodríguez, E. R. A y Martínez, A. (2019). Obtención de clases de fertilidad de suelos con técnicas geoestadísticas y lógica difusa en campos experimentales. Memorias arbitradas de la X Jornadas de Investigación, I de Producción y VII de Socialización del Conocimiento. Universidad Rómulo Gallegos. San Juan de los Morros, Venezuela. https://www.academia.edu/download/58522267/36._Valera_Arias_Martinez_Logica_Difusa_y_Geoestadistica_2019.pdf
- Villalba-Martínez, C., Merino-García, A. y Etchevers-Barra, J. (2020). Diagnóstico de la fertilidad química de suelos en sistemas agrarios y forestales de la región Oriental de Paraguay. *Investigación Agraria*, 22(2), 92-99. DOI: <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.diciembre.2202658>
- Willey, N. (2016). *Environmental plant physiology*. 1st ed. New York (USA): Garland Science. 320 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781317206231>