



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios
Superiores, Unidad Morelia

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

MANTENIMIENTO DE LA CAPACIDAD
DEL SUELO PARA PROMOVER EL
CRECIMIENTO VEGETAL EN
COBERTURAS VEGETALES CON
DIFERENTE MANEJO AGRONÓMICO
EN LA MESETA PURÉPECHA DE
MICHUACÁN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

DANIELA FLORES MENDEZ

DIRECTOR(A) DE TESIS: DRA. MAYRA ELENA GAVITO PARDO
CODIRECTOR(A) DE TESIS: M.C. MARTHA AMÉRICA BALEÓN SEPÚLVEDA

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO

Septiembre, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA
NACIONAL
DE ESTUDIOS
SUPERIORES
UNIDAD MORELIA

10
años
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA
SECRETARÍA GENERAL
SERVICIOS ESCOLARES

MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

PRESENTE

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 04** del **Comité Académico** de la **Licenciatura en Ciencias Ambientales** de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia, celebrada el día **29 de mayo de 2023**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional de la alumna **Daniela Flores Méndez** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **419127125**, con el trabajo titulado: **"Mantenimiento de la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal en coberturas vegetales con diferente manejo agronómico en la meseta purépecha de Michoacán"**, bajo la dirección como tutora de la **Dra. Mayra Elena Gavito Pardo** y como co-tutora la **M. en C. Martha América Baleón Sepúlveda**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

Presidente:	Dra. Ana Isabel Moreno Calles
Vocal:	Dr. Pablo Fabián Jaramillo López
Secretario:	M. en C. Martha América Baleón Sepúlveda
Suplente:	Dra. Esperanza Arnés Prieto
Suplente:	M. en C. Andrea Iovanna Raya Hernández

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Morelia, Michoacán a 07 de septiembre de 2023.

DRA. YUNUEN TAPIA TORRES
SECRETARIA GENERAL

CAMPUS MORELIA

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614
www.enesmorelia.unam.mx

Agradecimientos institucionales

Agradezco a la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Morelia, por brindarme las bases y enseñanzas para mi carrera profesional.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT-IN211221) de la DGAPA-UNAM por la beca de licenciatura otorgada y el financiamiento para la realización de este estudio como parte del proyecto “Mantenimiento de la biodiversidad y la funcionalidad de las asociaciones micorrízicas en ambientes productivos”.

A la Dra. Mayra Elena Gavito Pardo, por su papel fundamental como tutora en la realización de este trabajo, por el apoyo continuo a través de asesorías, el diseño de experimentos, las revisiones y la retroalimentación del presente escrito, las reuniones para la resolución de dudas y por todas las facilidades brindadas para la elaboración y conclusión de este proyecto durante todas sus etapas.

A la M. en C. Martha América Baleón Sepúlveda, por su papel fundamental como cotutora de este trabajo a través de las asesorías brindadas, el apoyo durante el diseño de experimentos y la realización de los análisis estadísticos, las revisiones y la retroalimentación del presente escrito, las reuniones para la resolución de dudas y por todas las facilidades brindadas para la elaboración y conclusión de este proyecto durante todas las etapas que lo conformaron.

A la M. en B. Ana Lidia Sandoval Pérez, del LANIES, UNAM, por el apoyo técnico durante el montaje del bioensayo y el seguimiento a lo largo de las cosechas.

Al laboratorio de Suelos Sustentables del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, por permitirme realizar esta tesis dentro de sus instalaciones y por todo el

apoyo brindado para la elaboración de este proyecto. En particular al Lic. Eloy Pat López, por el apoyo técnico durante el trabajo de campo y el montaje del bioensayo, y a Olivia Carolina Mota Martínez, por su apoyo durante el montaje del bioensayo, cosechas y procesamiento como parte de su Estancia de Investigación.

A los miembros del jurado, la Dra. Ana Isabel Moreno Calles, el Dr. Pablo Fabian Jaramillo López, la M. en C. Martha América Baleón Sepúlveda, la Dra. Esperanza Arnés Prieto y la M. en C. Andrea Iovanna Raya Hernández por sus comentarios y tiempo brindado para el enriquecimiento de esta tesis.

Agradecimientos personales

A mi mamá, por su infinito amor, compañía y ánimos, por no dejar de creer en mí ni un segundo y apoyar mis sueños, por ser siempre mi mayor motivación y ejemplo a seguir, porque siempre me ha dado todo cuanto ha podido y porque ha sido siempre mi mayor apoyo.

A mis hermanos, Germán y Paulina, por ser los mejores compañeros de vida, por cuidar de mí y crecer conmigo, por todos sus consejos y apoyo incondicional. Por motivarme siempre, por creer y confiar en mí.

A Abril, Citlali, Jenni, Yenni y Analía, por su amistad y apoyo durante la licenciatura y durante el proceso de esta tesis, gracias por estar conmigo hasta el final.

A Viri, Morelia, Graciela y Jaquelin, por su amistad a lo largo de tantos años, por su apoyo y amor incondicional, por sus incansables ánimos y palabras de aliento, gracias por acompañarme no solo en este proceso si no en todos estos años, sigamos creciendo juntas.

A Olivia, por su apoyo, amistad, consejos y por siempre entenderme y escucharme.

A mis tutoras, la Dra. Mayra Elena Gavito Pardo y la M. en C. América Baleón Sepúlveda, por todo el apoyo, paciencia, orientación, enseñanzas y guía durante la elaboración de este trabajo. Gracias por brindarme la oportunidad de culminar mi carrera profesional.

Índice

Resumen	1
Abstract.....	3
1. Introducción.....	5
1.1 Prácticas de manejo agrícola y servicios ecosistémicos	6
1.2 Biota del suelo	9
1.3 Microbiota del suelo	9
1.4 Agricultura en Michoacán.....	11
1.5 Evaluación de los efectos del manejo agronómico en el suelo.....	12
2. Planteamiento del problema	14
3. Preguntas de investigación	16
3.1 Pregunta general	16
3.2 Preguntas específicas	16
4. Objetivos.....	17
4.1 Objetivo general.....	17
4.2 Objetivos particulares	17
5. Hipótesis.....	18
6. Materiales y métodos.....	19
6.1 Zona de estudio	19
6.1.1 Morelia	19
6.1.2 Villa Madero.....	20
6.1.3 Uruapan	20
6.1.4 Ario de Rosales.....	20
6.2 Muestreo en campo	23
6.3 Montaje de bioensayos.....	24
6.3.1 Tratamientos	24
6.3.2 Esterilización de suelo.....	25
6.3.3 Filtrado de microbiota	25
6.3.4 Pesado y germinación de semillas.....	26
6.3.5 Siembra.....	26
6.4 Cosecha 1	28

6.5 Fertilización	30
6.6 Cosecha 2	31
6.7 Variables de crecimiento, síntomas visuales y cocientes indicadores de salud y fertilidad.....	32
6.8 Análisis estadísticos	34
7. Resultados.....	35
7.1 Promoción del crecimiento	36
7.2 Deficiencias nutricionales.....	39
7.3 Indicadores de enfermedad	40
7.4 Cocientes de respuesta	42
8. Discusión	45
9. Conclusiones.....	59
10. Perspectivas	60
Referencias	62

Índice de figuras

Figura 1. Importancia de los microorganismos del suelo y sus funciones.	10
Figura 2. Zonas de estudio y ubicación de los sitios de cada tipo de cobertura	22
Figura 3. Deficiencias nutricionales evaluadas visualmente en las plantas de maíz utilizadas en el experimento.....	29
Figura 4. Promedio de biomasa aérea de maíz creciendo en suelo fresco y sin fertilizante obtenida para cada sitio de muestreo en estadio V5.....	37
Figura 5. Promedio de biomasa obtenida para las distintas coberturas en los distintos tratamientos de desinfección utilizados.....	38
Figura 6. Promedios de tasa de crecimiento para las plantas de maíz creciendo en cada una de las cinco coberturas y tratamientos de desinfección utilizados	39
Figura 7. Porcentaje de deficiencias nutricionales evaluadas visualmente para las plantas de maíz	40
Figura 8. Promedio del porcentaje obtenido para la evaluación visual de indicadores de enfermedad en las plantas de maíz.	41
Figura 9. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo fresco con fertilizante y la obtenida en suelo fresco sin fertilizante para cada una de las coberturas utilizadas.	42
Figura 10. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo fresco sin fertilizante y suelo desinfectado sin fertilizante para las coberturas utilizadas.	43
Figura 11. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo desinfectado con microbiota sin fertilizante y biomasa obtenida en suelo desinfectado sin fertilizante para las coberturas utilizadas.	44

Índice de tablas

Tabla 1. Número de sitios por cobertura muestreados en cada zona establecida y total de sitios muestreados por cobertura.....	23
Tabla 2. Variables evaluadas y cocientes propuestos para pruebas de hipótesis	33
Tabla 3. Valores de p para los efectos principales de cobertura, desinfección y fertilización y sus interacciones entre dos y tres factores para las plantas de maíz.....	36

Resumen

Los suelos agrícolas proveen una gran variedad de servicios ecosistémicos, dentro de los que destaca la capacidad de promover el crecimiento vegetal por su relación con el buen rendimiento en los cultivos. Las prácticas de manejo agrícolas y la intensidad de estas pueden alterar las condiciones del suelo y, por lo tanto, su capacidad para promover el crecimiento vegetal.

El objetivo del presente trabajo fue comparar la capacidad de promover el crecimiento vegetal en cuatro coberturas agronómicas distintas: aguacate, zarzamora, maíz, mora azul y suelos de bosque como sitios de referencia sin manejo agronómico, utilizando al maíz como planta modelo. Se esperaba que los suelos colectados en sitios de referencia promovieran un mayor crecimiento vegetal, que la adición de fertilizante favorecería el desarrollo de las plantas, y que la presencia de biota y microbiota nativa incrementaría la capacidad de promover el crecimiento.

Se realizaron bioensayos en invernadero con los suelos colectados de todas las coberturas y se evaluaron los efectos de la cobertura agronómica, la fertilización y la desinfección selectiva en un diseño experimental factorial, con el propósito de separar los efectos de la cobertura agronómica de problemas potenciales de fertilidad y sanidad dentro de la evaluación del crecimiento vegetal en suelos de cuatro zonas del estado de Michoacán (56 sitios). Se registró la biomasa total obtenida en los estadios V2 y V5 en el maíz y se realizó una evaluación visual de síntomas o signos de deficiencias nutricionales y de posibles enfermedades.

Contrario a lo que se esperaba, los suelos con cobertura de aguacate presentaron una mayor capacidad de promover el crecimiento vegetal, seguido por la zarzamora, y los más bajos para el resto de las coberturas. La fertilización contribuyó a un mayor desarrollo de biomasa, excepto en la mora azul. La presencia de la biota total resultó ser benéfica para el maíz, mora azul y bosque.

Para el suelo de aguacate la biota no presentó efecto sobre el crecimiento y para el suelo de zarzamora, resultó ser perjudicial; para estas dos coberturas hubo mayor producción de biomasa al desinfectar el suelo, lo que sugiere que han acumulado biota perjudicial. Al evaluar el efecto de la adición de microbiota no se encontró ninguna diferencia.

Para las evaluaciones visuales, la deficiencia dominante fue de fósforo, con mayores porcentajes en suelos de bosque, mora azul y maíz, seguidas por aguacate y, por último, zarzamora. Además, las deficiencias de nitrógeno, fueron mayores en las plantas sin fertilizante, sin embargo, la desinfección contribuyó a disminuir las deficiencias. Por último, para los signos de enfermedad, las plantas creciendo en suelos de mora azul y maíz presentaron mayores porcentajes, seguidos por el aguacate y la zarzamora, mientras que aquellas en suelo de bosque obtuvieron los porcentajes más bajos.

Los resultados demostraron que los bioensayos son una herramienta útil, sencilla y económica para la evaluación básica de la capacidad de promover el crecimiento vegetal. Es necesario interpretar con reserva estos resultados tomando en cuenta las limitaciones del estudio y las condiciones de expansión de estos cultivos y sus prácticas de manejo para proyectar si esta capacidad se seguirá manteniendo a futuro y qué alternativas pueden existir para mantener este servicio ecosistémico.

Abstract

Agricultural soils provide many ecosystem services, among which the ability to promote plant growth is one of the main and most important services due to its relationship with good crop yields. Agricultural management practices and their intensity may alter soil conditions and, therefore, their capacity to promote plant growth.

The objective of the present work was to compare the ability to promote plant growth in four agronomic covers: avocado, blackberry, maize, and blueberry, and forest soils as reference sites without agronomic management, using maize as a model plant. It was expected that soils collected from reference sites would promote greater plant growth, that the addition of fertilizer would favor plant development, and that the presence of native biota and microbiota would increase the capacity to promote growth.

Greenhouse bioassays were conducted with soils collected from all agronomic coverages and the effects of agronomic cover, fertilization and selective disinfection were evaluated in a factorial experimental design, with the purpose to separate the effects of agronomic cover from potential fertility or health problems on the evaluation of plant growth in soils from four zones in the State of Michoacán (56 sites). The total biomass obtained at the V2 and V5 stages of maize were measured and a visual evaluation of symptoms or signs of nutritional deficiencies and possible diseases was performed.

Contrary to what was expected, soils with avocado cover presented the greatest capacity to promote plant growth, followed by blackberry, and the lower values for the resto of the covers. Fertilization contributed to a greater biomass development, except in blueberry. The presence of total biota was beneficial for maize, blueberry and forest, for the avocado soil, had no effect, and

for blackberry soil, it was detrimental. For these two coverages, there was greater biomass production when the soil was disinfected, suggesting they had accumulated detrimental biota. When evaluating the effect of microbiota addition, no difference was found.

For the visual evaluations, the greatest visual deficiency was phosphorus, with higher percentages in forest, blueberry, and maize, followed by avocado and, lastly, blackberry. In addition, nitrogen deficiencies were higher in plants without fertilizer, and soil disinfection reduced N deficiencies. Finally, for signs of disease, plants growing in blueberry and maize soils presented higher percentages, followed by avocado and blackberry, while those in forest soil showed the lowest percentages.

The results demonstrated that bioassays are a useful, simple, and inexpensive tool for the basic evaluation of the capacity to promote plant growth. It is necessary to interpret these results with caution, considering the limitations of the study and the conditions of expansion of these crops and their management practices in order to project whether this capacity will continue to be maintained in the future and what alternatives may exist to maintain this ecosystem service.

1. Introducción

Los servicios ecosistémicos o servicios ambientales pueden definirse como todos aquellos beneficios que la humanidad obtiene, de forma directa o indirecta, a través de los ecosistemas y que contribuyen a satisfacer necesidades para su bienestar y óptimo desarrollo. Estos servicios son resultado de la interacción entre los elementos bióticos y abióticos de los ecosistemas (Challenger, 2009).

El suelo, además de ser el sustento para la obtención de alimento, es proveedor de una gran variedad de servicios ecosistémicos (Delgado et al., 2020). El suelo puede definirse como aquel material no consolidado que se encuentra en la superficie de la Tierra que ha recibido los efectos de diversos factores genéticos y ambientales durante periodos prolongados de tiempo (SEMARNAT, 2013). Los suelos tienen una estructura porosa y están compuestos por materia orgánica e inorgánica mezclada a lo largo del tiempo además de cuatro componentes principales: minerales, materia orgánica, agua y aire (Towhid, 2013).

Además de ser la base de varios ecosistemas, el suelo brinda soporte, nutrientes, agua, aire y protección para las plantas, además en él se llevan a cabo una gran diversidad de funciones ecológicas, entre las que destacan el reciclaje de materiales, la transformación de energía, la purificación de agua, entre otras (Dazzi y Lo Papa, 2022). El suelo contribuye con la producción de servicios ecosistémicos de todas las categorías: soporte, provisión, regulación y culturales. (Barrios, 2007).

Entre los servicios ecosistémicos que son brindados por el suelo pertenecientes a la categoría de provisión se pueden encontrar la obtención de comida, combustibles y fibras, así como espacio y soporte físico para actividades humanas y la obtención de materiales para la construcción, mientras que en los servicios de regulación se pueden encontrar el almacén y la filtración de agua, el control

biológico de plagas y enfermedades, el ciclaje de nutrientes y de elementos tóxicos, así como el almacén de carbono y de algunos gases de efecto invernadero (Burbano-Orjuela, 2016). En cuanto a los servicios culturales, el suelo es espacio de recreación, estética para el paisaje y aspectos espirituales de ciertas culturas y comunidades (Dominati et al., 2010).

Los suelos agrícolas también brindan una gran variedad de servicios ecosistémicos pertenecientes a las cuatro categorías antes mencionadas, sin embargo, se ha resaltado su importancia en la categoría de provisión, buscando optimizarla para la producción y satisfacción de necesidades humanas (Swinton et al., 2007; Zhang et al., 2007).

La agricultura es una de las actividades esenciales para el desarrollo de la vida humana, para el 2020, el área destinada a la agricultura y el pastoreo abarcaba un 36.5% del total de la superficie terrestre (Banco Mundial, 2020), sin embargo, es importante recordar que los ecosistemas agrícolas son construidos y modificados por el ser humano, y que las prácticas de manejo pueden tener efectos positivos o negativos en los servicios brindados por el suelo, entre ellos, la capacidad de sostener y promover el crecimiento vegetal (Zhang et al., 2007).

La capacidad para producir alimentos y materias primas es el servicio ecosistémico de provisión de los suelos más apreciado por la humanidad y esta capacidad deriva de varios servicios de regulación y de la función ecosistémica del suelo de sostener el crecimiento de los seres vivos (FAO, 2020). Esta capacidad puede reducirse o perderse cuando el manejo agronómico no preserva la biodiversidad y los servicios de regulación que la sostienen (Ponge et al., 2013).

1.1 Prácticas de manejo agrícola y servicios ecosistémicos

Durante el siglo XX se comenzaron a intensificar tanto el uso de nuevas tecnologías para la agricultura como las prácticas de manejo agrícola. Esto se basó principalmente en el uso de

insumos externos (agroquímicos como fertilizantes y pesticidas), lo que dio como resultado el aumento de la erosión, la salinización y la contaminación del suelo, así como la pérdida de biomasa y la reducción de la productividad (Estrada, 2018). Además, debido principalmente a la expansión agrícola y a la intensificación, la agricultura se encuentra clasificada como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad terrestre (Bommarco et al., 2018).

Los servicios ambientales de la agricultura están influenciados por el lugar y la forma en la que se decide cultivar. Tradicionalmente, los lugares para cultivar se seleccionan tomando en cuenta un único servicio ecosistémico, el de provisión, sin tener en cuenta la importancia de la regulación o el soporte, por lo que se cultiva en zonas poco adecuadas (Zhang et al., 2007).

El incremento de la demanda de alimentos ha derivado en la búsqueda del aumento y agilización de la producción y, por lo tanto, en el progresivo reemplazo de las prácticas tradicionales, como el uso de herramientas básicas (hoz, pala, azadón) y animales de trabajo que reducen la cantidad de energía utilizada para sembrar, así como el uso de la producción mayormente para autoconsumo (Hérendez-Xolocotzi, 1988) por el uso de insumos externos y métodos más mecanizados. Si bien estas prácticas agrícolas han tenido un buen resultado en la producción de los bienes producidos por la agricultura, también ha tenido un fuerte impacto ambiental negativo (Bommarco et al., 2018).

Entre las principales consecuencias de la intensificación de la agricultura se encuentran la alteración de los ciclos biogeoquímicos e hidrológicos, la pérdida de biodiversidad y la contaminación y degradación del suelo (Bommarco et al., 2018).

Algunas prácticas de manejo como la aplicación de fertilizantes alteran de manera significativa la composición biótica del suelo al crear nuevas condiciones en donde se han aplicado, ocasionando

cambios en los procesos que se llevan a cabo. La aplicación de fertilizante en los cultivos es una de las prácticas de manejo más utilizadas que puede afectar positiva o negativamente la diversidad de la biota del suelo a través de su influencia en las propiedades del suelo y la disponibilidad de recursos (Li et al., 2021).

El uso de insumos como los fertilizantes sintéticos y pesticidas químicos puede causar una disminución en la diversidad de algunos grupos de la biota del suelo, como bacterias y hongos (López et al., 2007). Estos cambios en la diversidad del suelo pueden provocar cambios en las funciones de los ecosistemas y los servicios ambientales que brindan, así como en las cadenas tróficas (Du et al., 2022).

Otra de las formas en las que las prácticas agrícolas pueden afectar los suelos, y, por lo tanto, los servicios que brindan, es alterando la salud de los mismos, es decir, provocando la proliferación de enfermedades o aumentando la susceptibilidad de los mismos a presentar enfermedades, es por ello que una de las formas de estimar el efecto negativo o positivo de las prácticas de manejo es analizar que tanto el suelo y los cultivos han sido afectados por enfermedades (Howard, 1947).

Un suelo sano provee a las plantas los nutrientes necesarios para su crecimiento, almacena agua, filtra posibles contaminantes y funciona como un medio estable para la producción agrícola (FAO, 2015). Sin embargo, algunas de las prácticas convencionales de la agricultura, principalmente el uso de insumos externos como fertilizantes químicos y pesticidas, han provocado la pérdida o alteración de ciertas actividades ecosistémicas del suelo, como la productividad y fertilidad, alteran el ciclo de nutrientes y la filtración de agua propiciando cada vez más la presencia de suelos poco saludables (Temitope et al., 2020).

1.2 Biota del suelo

En el suelo habitan un gran número de organismos, los cuales cumplen una amplia variedad de funciones que les permiten crecer y reproducirse; y también, llevar a cabo con normalidad todos los procesos del suelo en los que son participes (Brito-Vega et al., 2013). Los organismos del suelo realizan diversas funciones que van desde la fotosíntesis hasta la descomposición de materia orgánica, y también, de manera directa o indirecta, impactan la productividad y fertilidad del suelo (Towhid, 2013).

La fauna del suelo es muy diversa, y contribuyen en una gran variedad de servicios ecosistémicos, se estima que en un gramo de suelo pueden encontrarse miles de especies de bacterias y una gran variedad de otros organismos como ácaros, nematodos, artrópodos y hongos (Barrios, 2007; Orduz-Tovar et al., 2020). La biota edáfica también está constituida por la microflora del suelo, la cual es una porción importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, e incluye bacterias, hongos, algas, actinomicetos y líquenes (Du et al., 2022). Sin embargo, a pesar de la importancia y abundancia de estos organismos, frecuentemente son ignorados u olvidados cuando se habla de la conservación de la biodiversidad, teniendo como consecuencia estudios poco representativos del papel que juegan en el ecosistema suelo (Delgado et al., 2020).

Uno de los principales grupos de la biota del suelo que se ve afectado debido al cambio de uso de suelo a suelos agrícolas y a las prácticas de manejo, es el de los microorganismos (Tiwari et al., 2021), los cuales, al cambiar el uso del suelo cambian su estructura, composición y función, alterando así los servicios ambientales que brindan los suelos (Lammel et al., 2021).

1.3 Microbiota del suelo

El microbioma del suelo (bacterias, hongos, protozoos, nematodos y micro artrópodos) es una parte fundamental en las relaciones planta-suelo-organismo que tienen lugar en el suelo,

influyendo fuertemente en procesos indispensables para el crecimiento vegetal, como la adquisición de nutrientes (Tiwari et al., 2021).

Es tan importante el rol de esta porción de la biota que en los últimos años se ha incrementado la investigación para conocer más a fondo su importancia en el mantenimiento de la productividad y salud del suelo; conocer la importancia y funciones que desempeñan es considerado como indispensable para lograr una agricultura más sostenible y mantener y/o aumentar la producción agrícola (Tiwari et al., 2021).

Los microorganismos que se asocian a las plantas pueden afectar positiva o negativamente la salud de las mismas, afectando la productividad del suelo y de los cultivos (Mokrani y Nabti, 2021). Dos de las funciones clave de los microorganismos del suelo son mantener la salud de las plantas y aumentar la productividad del suelo (Kant et al, 2020). Los microorganismos asociados a las plantas influyen de manera positiva en la germinación, crecimiento, salud y protección de las plantas inhibiendo patógenos y plagas (Mokrani y Nabti, 2021) (Figura 1).

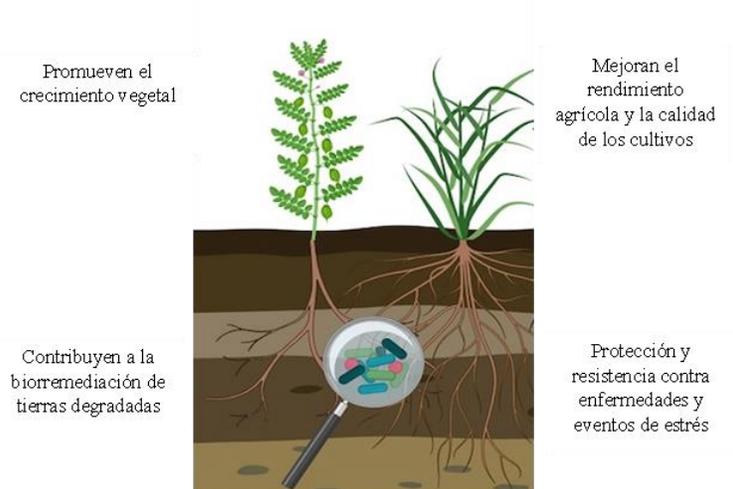


Figura 1. *Importancia de los microorganismos y sus funciones en el suelo (Modificado de Kant et al., 2020).*

Por ejemplo, la capacidad de mantener baja o nula la incidencia o efecto de enfermedades es atribuida principalmente a la gran diversidad de comunidades de microorganismos presentes en el suelo, quienes actúan como defensores del suelo contra patógenos a través de diversos mecanismos como antibiosis, parasitismo, competencia y/o depredación (Jayaraman et al., 2021) en los llamados suelos supresores (Calvo-Araya, 2021). Los suelos supresores son suelos en los que a pesar de encontrarse en condiciones de vulnerabilidad se ha demostrado la supresión de enfermedades causadas por hongos, bacterias e incluso nematodos (Janvier et al., 2007).

Esta propiedad de los suelos es importante para la promoción del crecimiento vegetal ya que evita la proliferación de enfermedades que pueden afectar a los cultivos, sin embargo, las diferentes prácticas agrícolas pueden influir en la supresividad del suelo y en el mantenimiento en niveles bajos de las poblaciones de patógenos y como consecuencia, la presencia de enfermedades en los cultivos es mayor (Calvo-Araya, 2021).

1.4 Agricultura en Michoacán

La agricultura es una de las principales actividades económicas del estado de Michoacán. En México representa el 3.8% del producto interno bruto (PIB) y para el estado contribuye con el 7% del PIB (Ortiz, 2017).

En Michoacán se cultivan alrededor de 157 especies vegetales, lo que lo posiciona como uno de los mayores productores agrícolas del país. De los cultivos que se producen en el estado, aproximadamente el 40.5% se cultiva con sistema de riego y el 59.5% bajo temporal (Montiel et al., 2019), destacan por su importancia económica el aguacate, la zarzamora, la guayaba, el durazno, la fresa, el limón, y más recientemente, la mora azul. Así, Michoacán se ha convertido en el líder nacional de la producción de estos alimentos (SADER, 2019).

Debido a la importancia y rentabilidad de estos cultivos en el estado, se ha observado un aumento en el número de productores que destinan sus huertas al cultivo de estas frutas. Sin embargo, al comenzar a expandir el área de cultivo, es común que no se tomen en cuenta los requerimientos específicos necesarios para el cultivo, lo que trae como consecuencia que se establezcan plantaciones en zonas donde resulta complicado que los cultivos puedan satisfacer sus necesidades, por lo que el manejo agronómico se intensifica (Alcántar et al., 1999).

1.5 Evaluación de los efectos del manejo agronómico en el suelo

En Michoacán se ha documentado el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con algunas formas de manejo agronómico como el cultivo de aguacate (Bravo-Espinosa et al., 2012) o de maíz (Bonilla-Balderas., 2015). Cada cultivo lleva asociadas algunas prácticas de manejo, que a veces se comparten con otros cultivos y a veces son únicas, y también pueden variar las prácticas que elige cada productor o productora. Por lo tanto, no se puede asumir que todos los cultivos tienen los mismos impactos, ni que todos los sitios con el mismo cultivo son similares.

Se ha propuesto el uso de indicadores de distinta índole que permitan evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, especialmente en zonas agrícolas y ganaderas (Castillo-Valdez et al., 2021). Para la evaluación de la pérdida de biodiversidad y el efecto negativo sobre los cultivos se utilizan indicadores como la actividad enzimática, la biomasa microbiana total, la respiración microbiana y la densidad de grupos funcionales de microorganismos (Vallejo, 2013). No obstante, la información parcial que brindan estos indicadores no es fácil de integrar y no permite inferir el estado en el que se encuentra la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal.

La evaluación del mantenimiento de la capacidad para sostener el crecimiento vegetal resulta fundamental para identificar y entender cuáles son los cultivos y las prácticas agronómicas asociadas a los cultivos que la reducen (Sánchez et al., 2011). La reducción o pérdida de esta capacidad tiene enormes consecuencias para las personas que dependen de ella y debería evitarse con ordenamiento, planeación y políticas públicas dirigidas a preservarla (Brechelt, 2004). Sin embargo, se han encontrado pocos estudios que analicen el efecto del manejo agronómico asociado a coberturas o cultivos específicos sobre la capacidad de los suelos para promover el crecimiento vegetal. Por ello resulta urgente encontrar formas estandarizadas, rápidas y sencillas de evaluar la capacidad de promoción del crecimiento vegetal, que permitan diagnosticar oportunamente la disminución de este servicio y guiar el ordenamiento de las zonas agrícolas y los cultivos, así como el uso de las prácticas agronómicas que la preservan.

Esta evaluación podría hacerse por medio de bioensayos, los cuales son una metodología útil que brinda información acerca del efecto de diversos factores sobre un organismo modelo, por ejemplo, la toxicidad de sustancias presentes en el medio (Correa-Díaz, 2006). En un bioensayo, de manera general, se evalúa si los organismos modelo presentan algún cambio en su estructura o función por uno o varios factores (Pentreath, et al., 2015). Los bioensayos se llevan a cabo bajo condiciones controladas y con una serie de variables y tratamientos que permiten manipular las condiciones de crecimiento y analizar los efectos que éstas tendrían sobre las especies elegidas (Ávila-Cervantes et al., 2019). Las plantas son un modelo de estudio muy utilizado, ya que suelen ser cosmopolitas, fácilmente cultivables y de crecimiento rápido (Ávila-Cervantes et al., 2019). Los bioensayos son experimentos sencillos que podrían ser útiles para diagnosticar y monitorear en qué grado se mantiene, reduce o aumenta la capacidad de los suelos para promover el crecimiento vegetal en contextos muy variados.

Los bioensayos han sido una técnica ampliamente utilizada para la evaluación de distintos variables y su influencia sobre distintas áreas del conocimiento (Hader, 2018). Por ejemplo, se pueden utilizar como herramienta para medir la deficiencia de nutrientes en el suelo y su efecto sobre el crecimiento de las plantas (Denslow et al., 1987) o para evaluar el efecto de la presencia de contaminantes de cuerpos de agua sobre organismos habitantes de los mismos, y también para evaluar el potencial biorremediador de ciertas especies de organismos (Keddy et al., 1995).

El uso de bioensayos para medir la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal ha sido poco utilizado, sin embargo, existen referentes en los que se ha utilizado esta metodología para evaluar la influencia de la biota del suelo sobre la nutrición y crecimiento del maíz utilizando suelo agrícola combinado con otras variables, como la fertilización y desinfección (Gutiérrez-Núñez et al., 2022).

En el presente trabajo se utilizaron bioensayos realizados con suelos colectados en huertas de maíz, aguacate, zarzamora, mora azul y sitios de bosque de cuatro zonas del estado de Michoacán: Morelia, Villa Madero, Uruapan y Ario de Rosales para diagnosticar el estado de la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal. Estas regiones de Michoacán se han caracterizado por su gran crecimiento agrícola y el creciente desarrollo de huertas de aguacate y frutillas (SADER, 2019).

2. Planteamiento del problema

Michoacán ocupa el primer lugar nacional en la producción de aguacate (*Persea americana*), zarzamora (*Rubus ulmifolius*), maíz (*Zea mays*), fresa (*Fragaria*), lenteja (*Lens culinaris*), durazno (*Prunus pérsica*), y ciruela (*Prunus cultivar*) (SADER, 2018).

En los últimos años, la producción de aguacate y zarzamora ha adquirido mayor importancia en la entidad, hoy son dos de los principales cultivos de exportación. Se estima que existen más de 30,000 productores certificados para la exportación de aguacate, quienes manejan alrededor de 46,516 huertas, con una producción anual cercana a las 1.8 millones de toneladas (SENASICA, 2021). Para el año 2021, Michoacán reportó un crecimiento del 9% en la producción de berries comparada con años anteriores, siendo la mora azul el fruto que reportó un mayor crecimiento en su producción, con un 20% más con respecto a otros años, posicionando al estado como el segundo mayor productor del país (SADER, 2021).

El cultivo de estos productos ha representado un ingreso económico elevado para quienes lo realizan, así como para el estado y el país. Sin embargo, también se han presentado consecuencias negativas, sobre todo aquellas relacionadas con el uso del suelo y a nivel paisajístico, ya que, al ser cultivos de invernadero, estos representan una alteración a nivel del paisaje (Ochoa, 2020).

Los cultivos de aguacate, zarzamora y mora azul, se encuentran entre los cultivos con mayor intensificación en sus prácticas de manejo para aumentar la producción y mantener el buen estado de los frutos y de las huertas. El manejo que reciben es principalmente convencional, es decir, se aplican grandes cantidades de fertilizantes y pesticidas a los cultivos (SADER, 2017).

Debido a la importancia económica de los cultivos de aguacate y frutillas en el estado, así como la gran extensión de terreno destinada a la producción de granos como el maíz y las prácticas de manejo a las que son sometidos, es importante identificar los problemas que están presentando los suelos de cultivo en distintas zonas del estado.

Mucho se ha especulado acerca de la degradación ambiental asociada a la expansión e intensificación agrícola en Michoacán, pero poco se ha documentado con evidencia científica

sólida. El objetivo de este trabajo es evaluar con un método estandarizado el estado de la función de promoción del crecimiento vegetal para aportar evidencias del impacto de cuatro coberturas agronómicas comunes en el mantenimiento de esta función ecosistémica. Este estudio busca identificar si la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal ha sido modificada en las huertas de los frutos seleccionados, haciendo una comparación con sitios sin manejo agronómico previo, los bosques.

El presente estudio forma parte de un proyecto que busca evaluar el mantenimiento de diversas funciones y servicios a nivel de paisaje en la zona de estudio, la información generada aquí se utilizará como un indicador para los servicios ecosistémicos de provisión y será integrada posteriormente a los otros componentes del proyecto, que buscan generar una medida integradora del mantenimiento de diversas funciones en el suelo.

3. Preguntas de investigación

3.1 Pregunta general

La capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal ¿ha sido afectada por las diferentes coberturas agrícolas y las prácticas de manejo que llevan asociadas?

3.2 Preguntas específicas

1. ¿Cómo se modifica la capacidad del suelo para sostener el crecimiento de las plantas en las diferentes coberturas vegetales?
2. ¿La capacidad de promover el desarrollo de biomasa de un cultivo está limitada por la fertilidad del suelo en las diferentes coberturas vegetales?
3. La biota nativa del suelo ¿afecta el desarrollo y la salud de la planta?

4. Cuando el suelo tiene biota nociva que reduce el desarrollo de una planta, ¿la fertilización puede compensar esta pérdida de la capacidad del suelo para promover el desarrollo de la planta?

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Comparar la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal en cuatro coberturas agronómicas distintas: aguacate, zarzamora, maíz, mora azul y suelos de bosque como sitios de referencia sin manejo agronómico, utilizando al maíz como planta modelo.

4.2 Objetivos particulares

1. Evaluar la capacidad de promover el crecimiento del suelo de diferentes coberturas vegetales (aguacate, zarzamora, mora azul, maíz y bosque) a través de bioensayos de invernadero, utilizando al maíz como planta modelo.
2. Determinar el efecto de la fertilización en la capacidad de promover el crecimiento vegetal en diferentes coberturas mediante tratamientos de fertilización selectiva.
3. Evaluar la existencia de potenciales problemas de salud provocados por la presencia de biota nativa en los suelos colectados utilizando tratamientos de desinfección selectiva.

5. Hipótesis

1. Las coberturas naturales, al mantenerse con pocas modificaciones y alta biodiversidad, favorecerán el desarrollo de las plantas de maíz ya que en estos sitios se conservan los procesos y relaciones que permiten un desarrollo óptimo de las plantas, al no ser sitios alterados por las prácticas agronómicas ni recibir insumos externos.
2. La adición de nutrientes, al eliminar limitaciones nutricionales del suelo, favorecerá el desarrollo de biomasa y mejorará la apariencia física de las plantas en las distintas coberturas utilizadas.
3. La presencia de biota nativa, al mantener las interacciones con la planta y los procesos de regulación de fertilidad y control de poblaciones, será benéfica para el desarrollo de biomasa y la salud de las plantas, especialmente en aquellas coberturas con manejo agronómico moderado (maíz) o nulo.
4. La presencia de microbiota nativa será benéfica para el desarrollo de las plantas en las coberturas sin manejo o con manejo agronómico de baja intensidad (maíz), pero será perjudicial en aquellas coberturas con manejo agronómico de alta intensidad, sobre todo en uso de agroquímicos. Esto debido a que las poblaciones de microbiota se ven afectadas en aquellas coberturas con manejo de alta intensidad (zarzamora y mora azul), alterando a su vez las funciones que estas llevan a cabo.
5. La adición de nutrientes, al eliminar las limitaciones nutricionales del suelo, será suficiente para compensar las pérdidas de nutrientes ocasionadas por biota perjudicial, excepto cuando existan problemas graves de salud.

6. Materiales y métodos

6.1 Zona de estudio

El presente trabajo se realizó utilizando suelo de zonas pertenecientes a cuatro zonas de Michoacán: Morelia (zona M), Acuitzio y Villa Madero (zona V), Uruapan y Ziracuaretiro (zona U) y Ario de Rosales, Santa Clara del Cobre y Salvador Escalante (zona A) (Figura 2). Estas zonas se eligieron debido a que en ellas se presentan suelos con propiedades ándicas, en los que se concentra la expansión e intensificación agrícola reciente por sus propiedades para el desarrollo de cultivos.

Los suelos ándicos son suelos desarrollados sobre materiales producto de erupciones volcánicas y tienen como principal característica la variedad de material parental debido a la variedad de materiales expulsados durante las erupciones (Moreno et al., 2010). Los materiales formadores de estos suelos les dan unas características representativas llamadas propiedades ándicas, las cuales incluyen una densidad aparente baja, alta carga variable, alta capacidad de retención de fosfatos y de humedad. Normalmente los suelos con estas propiedades son ácidos, con valores de pH entre 4.9 y 6.0, contienen grandes cantidades de materia orgánica, más del 5%, tienen una macroestructura esponjosa y comúnmente su textura es franco limosa o más fina (Jaramillo, 2009). En este trabajo, se evitaron los sitios que tuvieran otro tipo de suelo para reducir esa fuente de variación.

6.1.1 Morelia

Municipio ubicado al nororiente de Michoacán. Con un clima predominante templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw1) con una temperatura media anual de 17.7°C y una precipitación media anual de 786 mm al año (Implan Morelia, 2018).

Los grupos de vegetación son: selva media caducifolia, selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de pino, bosque de pino- encino, bosque de galería, bosque mesófilo de montaña, bosque de oyamel, bosque y selva, y, matorral y mezquital. También destacan las vegetaciones agrícolas y de pastizal (ICAT, 2019).

6.1.2 Villa Madero

Población cabecera del municipio de Madero, cuenta con un promedio de temperatura mínima de 3°C y máxima de 27°C (Gobierno Municipal de Madero, 2018).

Los principales tipos de vegetación que se pueden encontrar son bosque, selva y pastizal. Otros usos del suelo incluyen agricultura con un 6.19% y zona urbana con un 0.19% (INEGI, 2010).

6.1.3 Uruapan

Municipio ubicado en la zona centro-occidente de Michoacán, conocido como la capital mundial del aguacate.

Cuenta con cinco diferentes tipos de clima: templado subhúmedo con lluvias en verano, templado húmedo con abundantes lluvias en verano, semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, semicálido subhúmedo con lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual supera los 1500 mm (Implan Uruapan, 2021).

Se pueden encontrar distintos tipos de vegetación a lo largo del territorio: bosque de pino, bosque de encino, bosque de pino-encino y selva baja.

6.1.4 Ario de Rosales

El municipio de Ario de Rosales cuenta con un clima templado con lluvias en verano y en algunas partes tropical. La precipitación media anual es de 761.6 mm y las temperaturas van de entre los 9.5°C a 22.9°C (Gobierno Municipal de Ario de Rosales, 2021).

Los tipos de vegetación predominantes son el bosque mixto, bosque tropical deciduo y bosque de coníferas.

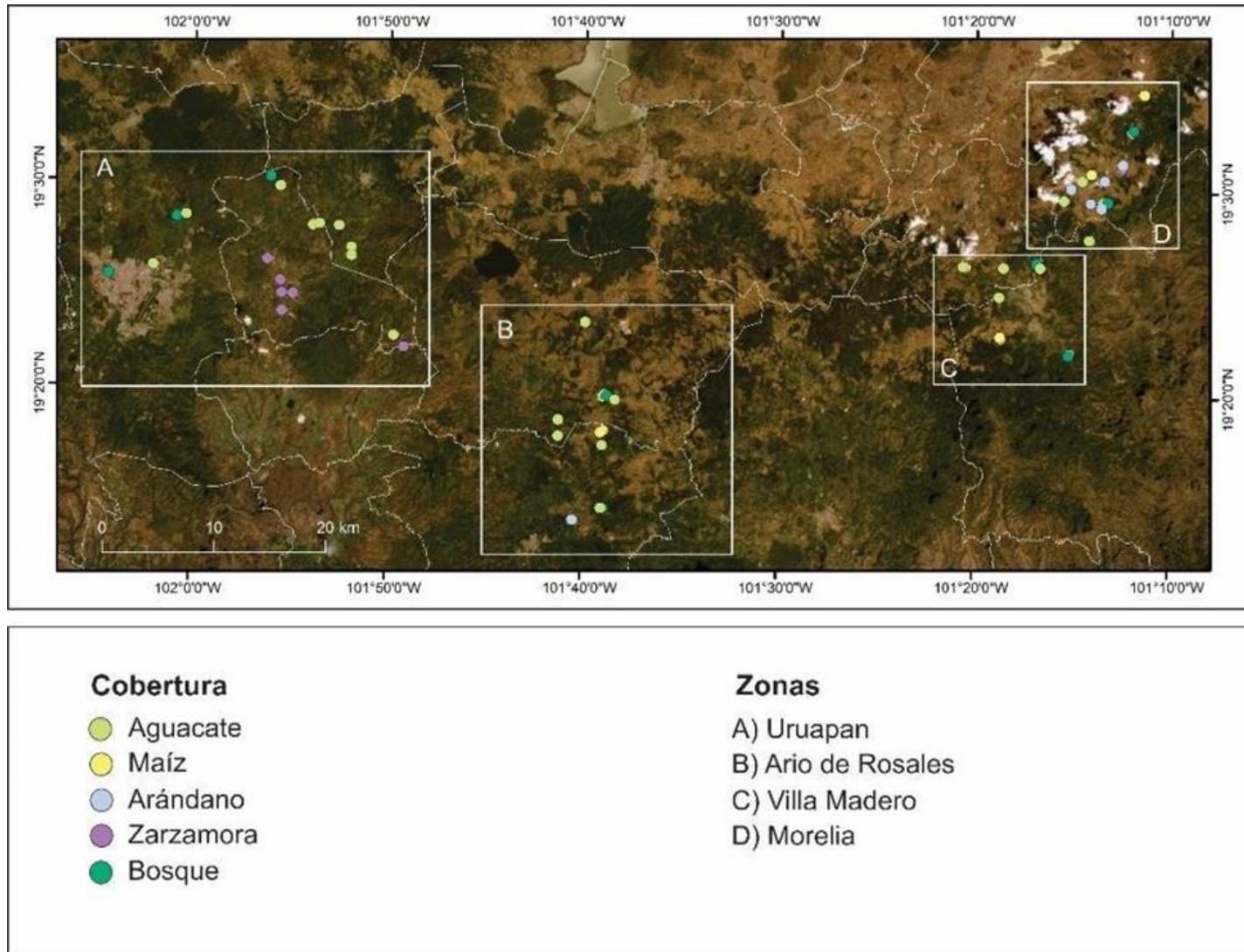


Figura 2. Zonas de estudio y ubicación de los sitios de cada tipo de cobertura (Tomado de Baleón-Sepúlveda, en preparación)

6.2 Muestreo en campo

El muestreo se realizó en las cuatro coberturas agronómicas predominantes de la zona que incluyen huertas de aguacate, zarzamora y mora azul, así como parcelas con cultivos anuales (en su mayoría maíz, que en algunos casos se rota con avena o janamargo). Cabe aclarar que estas son las coberturas predominantes en el conjunto de las cuatro zonas, pero no todas están presentes en cada una de las zonas, ni en la misma proporción. Debido a esto y a la disposición variable de las y los productores a participar en este estudio, hay diferentes números de sitios de cada cobertura en cada zona (Tabla 1). Además, se tomaron muestras de sitios con cobertura natural de bosque sin manejo agronómico para ser utilizados como referencia y definir si el manejo agronómico ha alterado la capacidad de promover el crecimiento vegetal. Estos sitios no están protegidos y pueden haber sido utilizados o perturbados de varias maneras (extracción de resina y/o leña, tala, quemas o pastoreo irregular), sin embargo, actualmente no tienen manejo agronómico.

Tabla 1. *Número de sitios por cobertura muestreados en cada zona establecida y total de sitios muestreados por cobertura*

Zona	Número de sitios por cobertura				
	Aguacate	Zarzamora	Maíz	Mora azul	Bosque
Morelia	5	1	2	5	2
Villa Madero	6	0	2	0	2
Uruapan	9	6	0	0	3
Ario de Rosales	7	0	3	1	2
Total	27	7	7	6	9

En cada uno de los 56 sitios se establecieron tres puntos para muestrear suelo de manera estandarizada, en los extremos y a la mitad de un transecto de 100 m de largo, para obtener una muestra representativa del sitio.

Se colectaron 10 kilos de suelo mineral, a una profundidad de 0 a 20 cm, retirando el material orgánico de la superficie y utilizando una pala. El suelo de los tres puntos se mezcló y se mantuvo a temperatura ambiente en un costal para almacenarlo y trasladarlo.

6.3 Montaje de bioensayos

6.3.1 Tratamientos

Para el diseño y montaje de los bioensayos se utilizó un diseño factorial de dos factores, los cuales fueron: 1) desinfección (suelo fresco sin modificaciones desde su colecta en campo, suelo autoclavado y suelo autoclavado más un filtrado con microbiota del suelo) y 2) fertilización (con y sin).

Los tratamientos de desinfección selectiva se usaron para separar los efectos de la biota presente en el suelo sobre la biomasa de las plantas producida durante el bioensayo, buscando evaluar si la biota total o una parte de ella, la microbiota, eran benéficas, neutras o perjudiciales para el desarrollo de las plantas. Los tratamientos de fertilización se utilizaron para explorar limitaciones de fertilidad.

Fertilidad y salud son los problemas más comunes que deterioran la capacidad del suelo para promover el crecimiento y son los que se evaluaron en este estudio. El tratamiento de autoclavado del suelo se denominó estéril y el que llevaba autoclavado y un filtrado con la microbiota se denominó estéril + inóculo. El suelo sin autoclavar se denominó fresco.

El diseño del bioensayo constó de los seis tratamientos con tres repeticiones cada uno, lo que dio como resultado un total de 18 unidades experimentales por cada uno de los 56 sitios.

6.3.2 Esterilización de suelo

Se esterilizaron 7 kilos de suelo de cada sitio utilizando una autoclave marca S/M modelo SM-360-3 durante un tiempo de dos horas, a una temperatura de 121°C y una presión de 2.5 Pa. Cuando se pesó el suelo, se eliminaron manualmente las raíces, ramas o piedras más grandes que pudieran afectar el proceso de esterilización. Para cada sitio se realizaron dos rondas de esterilización en la autoclave.

Entre cada proceso de esterilización, se dejó reposar la muestra por un día entero para permitir la ventilación y evitar toxicidad antes de volver a introducirla en la autoclave.

6.3.3 Filtrado de microbiota

Se diluyeron 100 gramos de suelo fresco en 1 litro de agua; se mezcló hasta eliminar todos los trozos grandes de suelo y se dejó sedimentar por aproximadamente un minuto.

Se filtró la suspensión utilizando un tamiz de 1 mm y uno de 45 µm de apertura para dejar pasar solamente el líquido, evitando las partículas del suelo.

Este filtrado se dejó reposar por una noche y, posteriormente, se filtró nuevamente con un tamiz con tres capas de una malla de 20 µm para obtener solamente la microbiota menor a 5 µm. La sedimentación nocturna y la filtración eliminaron los hongos micorrícicos, nematodos, etc., y dejó pasar bacterias, arqueas y hongos con estructuras muy pequeñas. Esto se corroboró en estudios piloto realizados previamente.

A cada unidad experimental correspondiente a este tratamiento se le agregaron 50 mL de filtrado de forma directa en el suelo antes de realizar la siembra.

6.3.4 Pesado y germinación de semillas

Se eligió el maíz como planta modelo debido a que es una planta de rápido crecimiento con alta demanda de nutrientes en sus primeras etapas de crecimiento, que se cultiva en casi todas las zonas y muestra visualmente los síntomas de deficiencias nutricionales y enfermedades con bastante claridad.

Se utilizaron semillas de maíz de la variedad H318 de Milpal®, las cuales son semillas de alto rendimiento pertenecientes a las variedades subtropicales de los productos de esta empresa y se ha comprobado su estabilidad en diferentes ambientes, así como una excelente sanidad en las semillas (Milpal, 2021).

Con el propósito de que todas las semillas utilizadas tuvieran una cantidad de nutrientes similar para iniciar el crecimiento, solo se utilizaron semillas que se encontraban en un rango de peso de 0.28 a 0.34 gramos.

Estas semillas fueron lavadas con agua caliente para eliminar el fungicida adicionado a las semillas de fábrica; después fueron colocadas en charolas de plástico sobre una base de papel y agua, fueron cubiertas con plástico de cocina y colocadas en un cuarto oscuro para su germinación.

El tiempo de germinación y desarrollo antes del trasplante fue de una semana para todos los lotes de semillas. Uno o dos días antes de la siembra se trasladaron a un lugar con luz directa para su aclimatación y promoción de la fotosíntesis.

6.3.5 Siembra

Se utilizaron vasos de plástico de 500 mL, los cuales fueron perforados y acondicionados para que se permitiera la infiltración del agua del riego. Una vez perforados, estos fueron etiquetados para identificar los sitios y tratamientos a los que pertenecían.

En cada unidad experimental se colocaron 400 gramos de suelo y se sembraron tres plántulas.

Todos los vasos tuvieron ejemplares con tamaños similares para evitar que el desarrollo de las plantas se viera afectado por el tamaño desigual de las fases iniciales. Una vez establecidas, se retiró una plántula para que quedaran dos por vaso.

Entre cada siembra de sitios diferentes, se utilizaron charolas de plástico para sacar una porción del suelo y sembrar la semilla, las charolas fueron desinfectadas con alcohol y agua para evitar la mezcla y contaminación de suelo de distintos sitios y tratamientos.

Es importante mencionar que las siembras no fueron al mismo tiempo para todas las zonas, ya que hubo diferencia en el tiempo en el que se colectaron los sitios de cada una de estas, por lo que se comenzó con las zonas de las que se tenían completas las muestras de suelo. El orden que se siguió para la siembra fue el siguiente: zona M, zona V, zona U y zona A.

El bioensayo se montó y mantuvo en condiciones semicontroladas dentro de un invernadero en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la UNAM-campus Morelia entre mayo y junio del 2022. Se colocó una malla sombra sobre la mesa del invernadero para evitar el sobrecalentamiento y el estrés hídrico, ya que son los meses más calurosos y secos del año. Los bioensayos se regaron todos los días dos veces al día, cuando así lo requirieron, por la mañana y por la tarde para evitar el estrés hídrico.

6.4 Cosecha 1

La primera cosecha se realizó cuando las plantas de maíz se encontraban en el estadio V2, que es cuando se observa que la tercera hoja del maíz está en desarrollo y ha formado su cicatriz en la base de la hoja. Este es el estadio en el que se han agotado las reservas de la semilla y las plantas comienzan a depender de los nutrientes disponibles en el suelo.

Se verificó en un estudio previo con varios tipos de suelo que dos plantas de maíz pueden alcanzar la misma biomasa que una sola planta en los vasos utilizados con 400 g de suelo. Se evitó pasar de este estadio porque se pudo observar que la biomasa producida en los vasos con dos plantas se reduce a partir de este punto, porque las plantas comienzan a estar limitadas por espacio, nutrientes y/o agua.

Antes de realizar el corte de la planta, se realizó una evaluación del estado nutricional de las plantas de maíz. Para realizar estas evaluaciones existen diversas metodologías, entre las que se encuentran: análisis de suelo, análisis de plantas, síntomas visuales de deficiencia de nutrientes, historia de manejo, vigor de las plantas, etc. (Barbazán, 1998). Para este estudio se realizó una valoración visual de los síntomas físicos que presentaba cada una de las plantas; los cuales fueron registrados en una bitácora para su posterior incorporación en una base de datos.

Los síntomas visuales elegidos fueron aquellos de los que se tiene registro que pueden apreciarse con mayor facilidad en una gran variedad de cultivos, además de que son deficiencias de macronutrientes primarios, es decir, aquellos que las plantas necesitan en grandes cantidades, por lo que su deficiencia es notoria con facilidad, entre los que se encuentran: el fósforo, nitrógeno y potasio (Zamora, 2016), por ello, se eligieron para registrar por porcentaje de área foliar los siguientes:

-Deficiencia de fósforo, identificada por el porcentaje de coloración morada que presentaba la planta (Figura 3A).

-Deficiencia de nitrógeno, identificada por el porcentaje de coloración amarilla o clorosis presente en la planta (Figura 3C).

-Otras deficiencias nutricionales, que incluyeron rayas amarillas y blancas.

-Síntomas de enfermedad, identificada por el porcentaje de manchas, marchitamiento o herbivoría (Figura 3B).

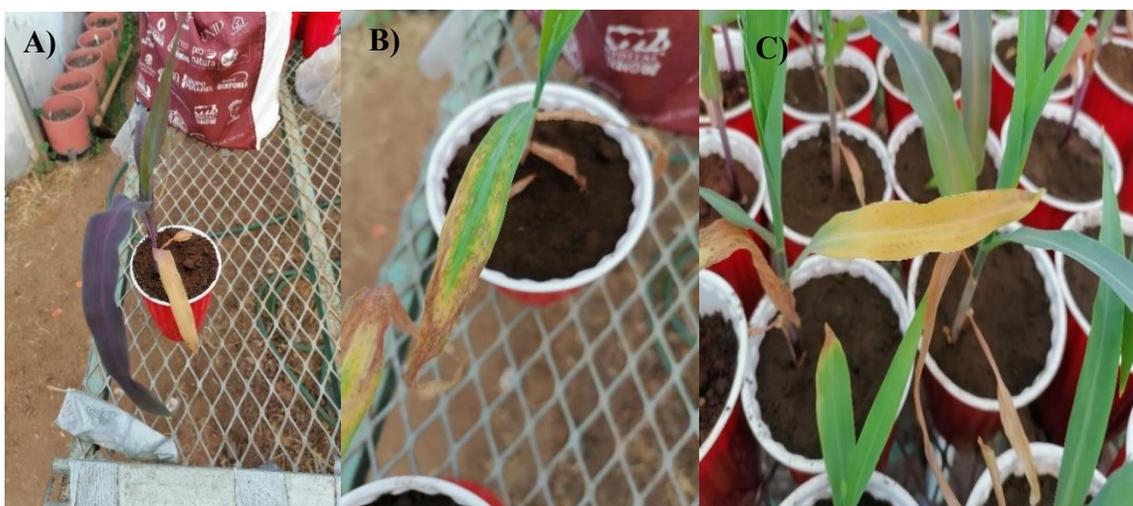


Figura 3. Deficiencias nutricionales evaluadas visualmente en las plantas de maíz utilizadas en el experimento. A) Deficiencia de fósforo; B) Presencia de síntomas de enfermedad (manchas); C) Deficiencia de nitrógeno.

Posteriormente, se colectó la parte aérea de una sola de las plantas cortando en la base a ras del suelo y se almacenó en bolsas de papel previamente etiquetadas con el número de la unidad experimental, tratamiento y sitio correspondiente. La planta restante se dejó sembrada para la continuación del experimento.

El corte se realizó utilizando tijeras comunes comenzando por los tratamientos con suelo estéril y después por los tratamientos frescos. Cada vez que se cosechaba un tratamiento diferente, las tijeras eran limpiadas con alcohol para evitar la contaminación de los suelos de los diferentes tratamientos.

Una vez que las plantas fueron cosechadas y guardadas en bolsas de papel, se colocaron en un horno marca BG® modelo HCF-71 a 60°C. Se dejaron secar por cinco días y una vez que llegaron a peso constante se realizó el registro de la biomasa seca.

Es importante mencionar que las cosechas no fueron al mismo tiempo para todas las zonas, ya que hubo diferencia en el tiempo en el que llegaron al estadio deseado para hacer la cosecha, en este caso, V3. El orden que se siguió para la cosecha fue el siguiente: zona M, zona V, zona U y zona A.

6.5 Fertilización

La fertilización del suelo se inició el día de la primera cosecha agregando fertilizante a aquellas plantas que permanecieron sembradas en los vasos, porque solamente se había cosechado una de las dos; es decir, a las plantas establecidas que ya se encontraban utilizando los recursos del suelo para su crecimiento.

Para la preparación del fertilizante se agregaron 141 miligramos de fertilizante triple 16 molido diluido en 10 ml de agua por cada unidad experimental. Se agregaron los 10 ml de fertilizante de manera directa al suelo utilizando una pipeta Transferpette®.

Sin embargo, se observó que en el suelo de algunos sitios el fertilizante no estaba siendo aprovechado debidamente por las plantas ya que las deficiencias visuales se seguían manteniendo, por lo que se realizó también una fertilización foliar.

Para la fertilización foliar se dividió la dosis en varias aplicaciones para evitar la quema de las hojas, se utilizaron 28.2 miligramos de fertilizante triple 16 molido diluido en 10 ml de agua por cada unidad experimental. Se realizaron un total de cinco aplicaciones, una cada tercer día, con un atomizador convencional; se tomaba la planta y se alejaba del resto al realizar la aplicación para evitar contaminación de plantas que no debían de recibir fertilizante.

6.6 Cosecha 2

La cosecha de la segunda planta se realizó cuando se encontraban en el estadio V5, que es cuando ya se ha formado completamente la hoja y la cicatriz de la hoja número 5. En el estudio previo también se determinó que las plantas de maíz pueden alcanzar este estadio con la misma biomasa que lo harían en macetas con el doble de la cantidad de suelo. Después de este estadio, el espacio y los recursos de los vasos ya son una limitante para el crecimiento y debido a eso, se evitó pasar de este estadio.

Se siguió el mismo procedimiento previamente descrito. Se realizó una valoración visual y se procedió a realizar el corte de la parte aérea de la planta para después guardarlas en bolsas de papel previamente etiquetadas.

Es importante mencionar que las cosechas no se realizaron al mismo tiempo para todas las zonas, ya que hubo diferencia en el tiempo en el que llegaron al estadio V5 para hacer la cosecha. El orden que se siguió para la cosecha fue el siguiente: zona M, zona V, zona U y zona A.

Una vez que las plantas fueron cosechadas y guardadas en bolsas de papel, se colocaron en un horno a 60°C. Se dejaron secar por cinco días y una vez que llegaron a peso constante se realizó el registro de la biomasa seca.

Las plantas fueron pesadas en una balanza analítica de laboratorio marca Ohaus® modelo aventurera-V213 y los pesos fueron registrados para ambas cosechas en una base de datos organizada por zonas.

6.7 Variables de crecimiento, síntomas visuales y cocientes indicadores de salud y fertilidad

Con el objetivo de poner a prueba las hipótesis de este trabajo, se seleccionaron diversas variables y tratamientos. Además, se propusieron una serie de cocientes calculados a partir de la biomasa obtenida en los diferentes tratamientos para expresar el incremento o decremento en la biomasa ocasionado por algún tratamiento en específico con respecto a un tratamiento elegido como su referencia (Tabla 2). En el caso de los cocientes, un valor cercano o igual a uno, indica que no se presentaron diferencias entre los tratamientos en el numerador y denominador, un valor mayor a uno indica un efecto positivo del tratamiento en el numerador sobre el crecimiento de las plantas y un valor menor a uno indica un efecto negativo del tratamiento en el numerador.

Tabla 2. Variables evaluadas y cocientes propuestos para pruebas de hipótesis

Efecto o hipótesis a probar	Variable (s) a evaluar	Tratamiento o cociente propuesto para la evaluación
1. Capacidad para promover el crecimiento vegetal	Biomasa y tasa de crecimiento	Biomasa en suelo fresco sin fertilizante en estadio V5.
2. La adición de nutrientes favorece el desarrollo de las plantas.	Biomasa y síntomas visuales	$\frac{\text{Biomasa en suelo fresco con fertilizante}}{\text{Biomasa en suelo fresco sin fertilizante}}$
3. La presencia de biota es benéfica para las plantas.	Biomasa y síntomas visuales	$\frac{\text{Biomasa en suelo fresco sin fertilizante}}{\text{Biomasa en suelo desinfectado sin fertilizante}}$
4. La presencia de microbiota es benéfica para el crecimiento vegetal.	Biomasa y síntomas visuales	$\frac{\text{Biomasa en suelo desinfectado con inóculo sin fertilizante}}{\text{Biomasa en suelo desinfectado sin fertilizante}}$
5. La adición de nutrientes será suficiente para compensar las pérdidas ocasionadas por biota perjudicial excepto cuando existan problemas graves de fertilidad o salud.	Biomasa y síntomas visuales	$\frac{\text{Biomasa en suelo desinfectado con fertilizante}}{\text{Biomasa en suelo fresco con fertilizante}}$

La tasa de crecimiento para cada unidad experimental fue calculada realizando una resta de la biomasa obtenida al final del experimento (estadio V5) y la biomasa obtenida en la primera cosecha (estadio V2), el resultado de esta resta se dividió entre el número de días que transcurrieron entre la primera y la segunda cosecha, el cual varió de acuerdo a la zona. Por lo tanto, la tasa de crecimiento refleja la capacidad de construir biomasa por día en el periodo en el que las plantas ya dependen de los nutrientes que pueden conseguir en el suelo.

6.8 Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados utilizando modelos lineares mixtos (LMMs por sus siglas en inglés) utilizando la cobertura, el tipo de suelo (fresco, desinfectado y desinfectado con inóculo) y la fertilización (con y sin) como efectos principales; se utilizó el sitio de muestreo como efecto aleatorio para comparar los niveles de significancia de los efectos principales, así como de las interacciones de los mismos sobre las biomásas finales, la tasa de crecimiento e indicadores de salud y nutrición medidos visualmente (deficiencia de fósforo, nitrógeno, otras deficiencias nutricionales e indicadores de enfermedad).

Los modelos se elaboraron utilizando la función “lmer” en el paquete “lme4” así como de las interacciones de los mismos sobre las biomásas finales, la tasa de crecimiento e indicadores de salud y nutrición medidos visualmente (deficiencia de fósforo, nitrógeno, otras deficiencias nutricionales e indicadores de enfermedad).

Se realizaron modelos lineares para comparar si existían diferencias significativas entre las distintas coberturas y tratamientos utilizados, así como pruebas post hoc de Tukey para identificar y comprobar dichas diferencias.

Todos los análisis se llevaron a cabo utilizando las mediciones que se obtuvieron para las plantas de maíz en el estadio V2 y V5, y ajustando la n de los modelos según el número de sitios por cobertura mencionados anteriormente en la tabla 1 (aguacate: 27, zarzamora: 7, maíz: 7, mora azul: 6, bosque: 9).

Se ajustó el modelo de distribución de cada modelo y en los casos necesarios se transformaron los datos para las variables de biomasa final y los porcentajes de las deficiencias visuales evaluadas utilizando la función de logaritmo natural para ajustar la

mejor distribución de los datos en el modelo. Todos los análisis se realizaron utilizando el software R (V.4.2.2.) (R Core Team, 2022).

7. Resultados

La fertilización fue el efecto principal más significativo en las variables de promoción del crecimiento vegetal, medido a través de la biomasa aérea total al estadio V5 y la tasa de crecimiento entre los estadios V2 y V5, además de la deficiencia visual de nitrógeno, con interacción con la desinfección (Tabla 3).

Además, con excepción de la deficiencia visual de nitrógeno, la cual fue marginalmente significativa ($p=0.05$), el factor fertilización no interactuó con los factores cobertura y desinfección, es decir, fue independiente. Se encontraron interacciones significativas entre cobertura y desinfección para las variables de biomasa aérea, tasa de crecimiento, otras deficiencias nutricionales e indicadores de enfermedad en las plantas. La interacción entre cobertura y fertilización y la interacción triple entre fertilización, cobertura y desinfección no fueron significativas (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de *p* para los efectos principales de cobertura (C), desinfección(D) y fertilización (F) y sus interacciones entre dos y tres factores para las variables medidas en el estadio V5 de las plantas de maíz.

Variable	C	D	F	C*D	C*F	F*D	C*D*F
Promoción del crecimiento vegetal (biomasa aérea)	<0.001	<0.001	< 0.01	<0.001	0.15	0.54	0.48
Tasa de crecimiento	<0.001	<0.001	< 0.001	0.001	0.34	0.86	0.29
Deficiencia P	0.02	0.72	0.22	0.06	0.12	0.12	0.69
Deficiencia N	0.18	0.08	0.002	0.37	0.88	0.05	0.56
Otras deficiencias	0.48	0.13	0.28	0.02	0.84	0.48	0.71
Indicadores de enfermedad	0.33	<0.001	0.55	0.01	0.84	0.57	0.16

7.1 Promoción del crecimiento

La biomasa aérea producida hasta el estadio V5 en el suelo fresco y sin fertilizante, tal cual se colectó de cada sitio de muestreo fue muy variable. Los sitios que en general produjeron una mayor biomasa vegetal corresponden a sitios con huertas de aguacate, mientras que los sitios con cobertura de bosque y maíz se encuentran entre los valores más bajos de biomasa producida (Figura 4).

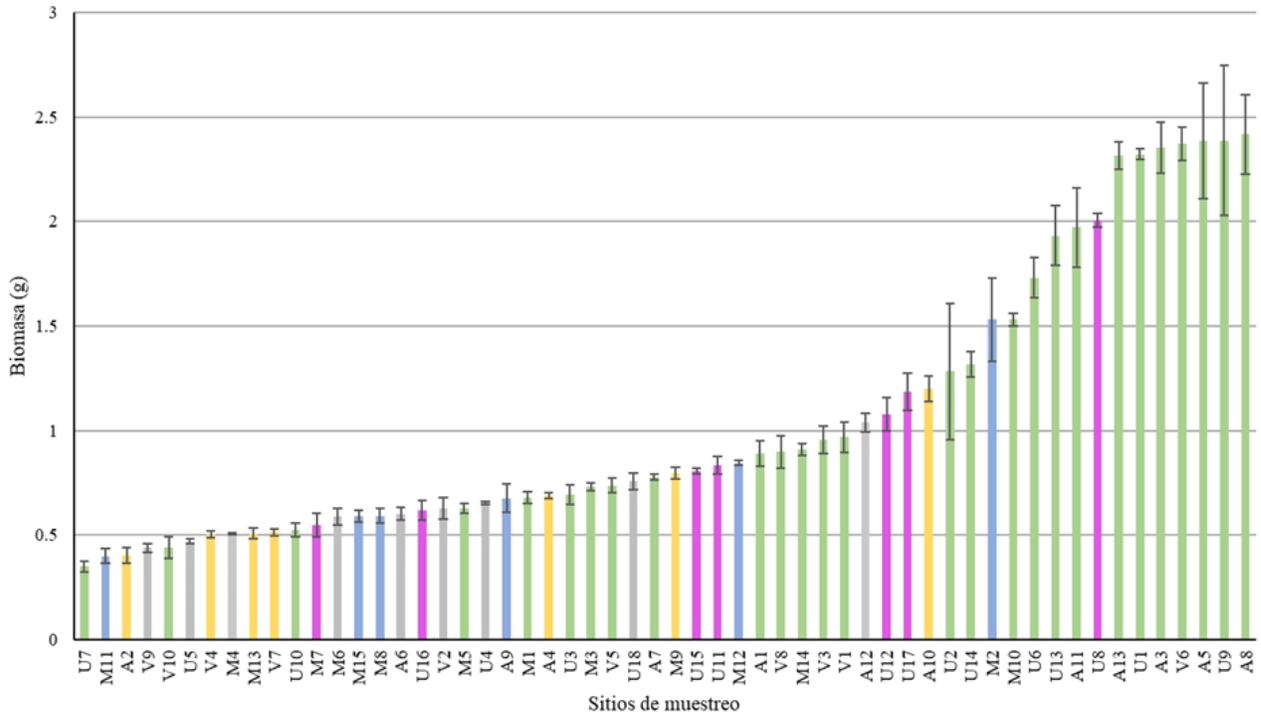


Figura 4. Promedio de biomasa aérea de maíz creciendo en suelo fresco y sin fertilizante obtenida para cada sitio de muestreo en estadio V5. Las letras en las etiquetas de los sitios de muestreo corresponden a la zona; M: Morelia, V: Villa Madero, U: Uruapan y A: Ario de Rosales y el número de sitio dentro de cada zona. Los colores corresponden a la cobertura de cada sitio, verde: aguacate, azul: mora azul, amarillo: maíz, gris: bosque y morado: zarzamora. Las barras representan el error estándar para cada uno de los sitios.

Los suelos con maíz, mora azul y bosque presentaron la menor promoción de crecimiento y además fueron similares. En suelos con aguacate y zarzamora el efecto de la desinfección del suelo fue positivo, tanto con como sin adición de la microbiota, mientras que en los suelos con maíz y mora azul el efecto de la desinfección fue negativo. Para el suelo de bosque la desinfección no tuvo ningún efecto (Figura 5).

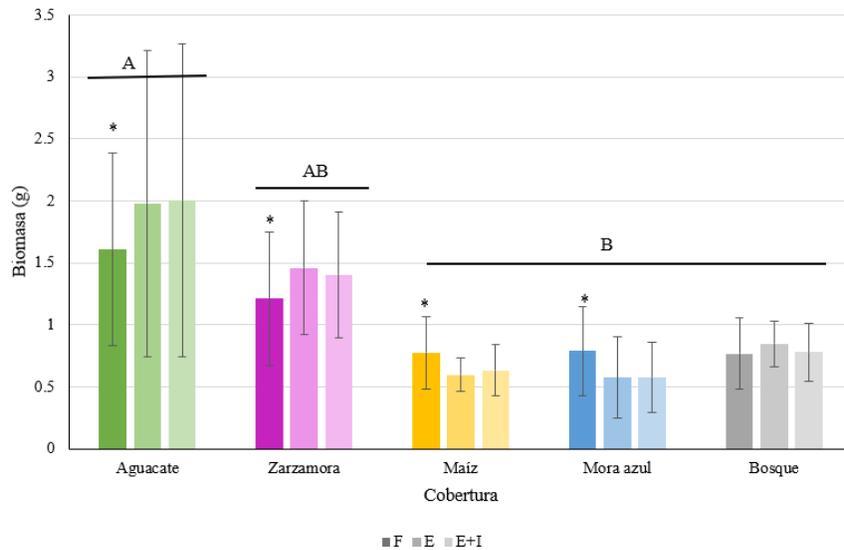


Figura 5. Promedio de biomasa obtenida para las distintas coberturas en los distintos tratamientos de desinfección utilizados. (F): fresco, (E): estéril, (E+I): estéril + inóculo. Las barras representan la desviación estándar de las muestras (n variable entre tratamientos). Las letras representan diferencias significativas entre coberturas y el asterisco diferencias significativas entre tratamientos en la misma cobertura.

El suelo con cobertura de aguacate fue el que promovió una mayor tasa de crecimiento, pero no hubo diferencias significativas con el suelo de zarzamora, mientras que las plantas de los suelos con cobertura de maíz, mora azul y bosque tuvieron tasas similares entre sí y más bajas que las medidas en suelos con aguacate y zarzamora, pero no hubo diferencias significativas con esta última (Figura 6). En suelos con aguacate y zarzamora el efecto de la desinfección del suelo fue positivo, tanto sin como con adición de la microbiota, mientras que en los suelos con maíz, mora azul y bosque la desinfección no tuvo ningún efecto.

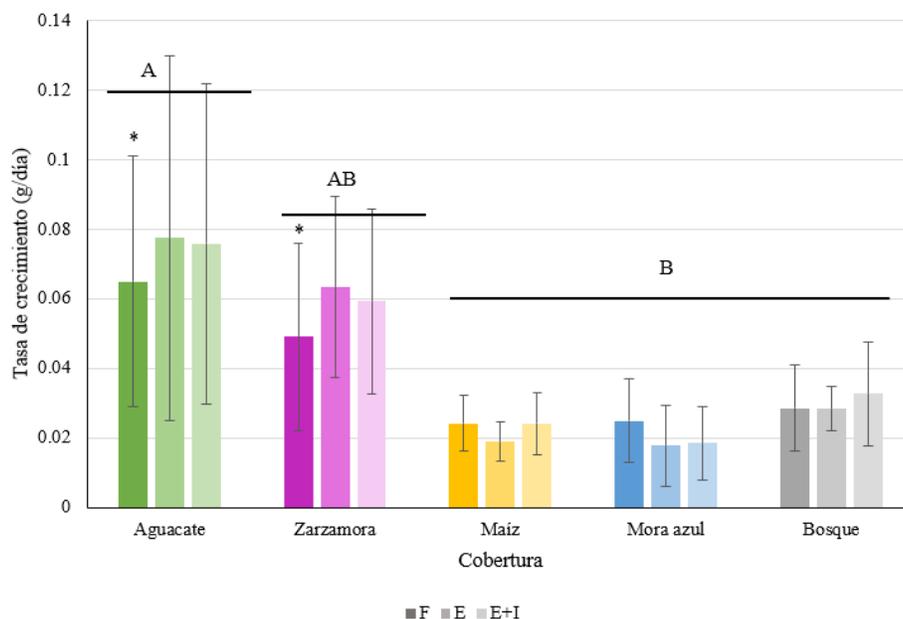


Figura 6. Promedios de biomasa del tallo obtenida por día (tasa de crecimiento) para las plantas de maíz creciendo en los suelos de las cinco coberturas y con los tratamientos de desinfección utilizados, (F): fresco, (E): estéril, (E+I): estéril + inóculo. Las barras representan la desviación estándar de las muestras (n variable entre tratamientos). Las letras representan diferencias significativas entre coberturas y el asterisco diferencias significativas entre tratamientos en la misma cobertura.

7.2 Deficiencias nutricionales

Las mayores deficiencias visuales fueron las de fósforo (Figura 7A), mientras que las de nitrógeno fueron menores (Figura 7B). El único factor que fue significativo para explicar la deficiencia de fósforo fue la cobertura (Tabla 3). El mayor porcentaje de deficiencia de fósforo lo presentaron aquellas plantas cultivadas en suelos con bosque, maíz y mora azul, seguidas sucesivamente por las que crecieron en suelo con aguacate y con zorzamora, se encontraron diferencias significativas entre los porcentajes obtenidos en las coberturas de aguacate y zorzamora con respecto a las de bosque, maíz y mora azul (Figura 7A). Se

encontró que hubo mayor porcentaje de deficiencia de nitrógeno en las plantas que no recibieron fertilizante, a excepción del suelo desinfectado con inóculo. Así mismo, la desinfección (mayoritariamente para el suelo con adición de microbiota) contribuyó a disminuir las deficiencias visuales de N en comparación con el suelo fresco, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas (Figura 7B).

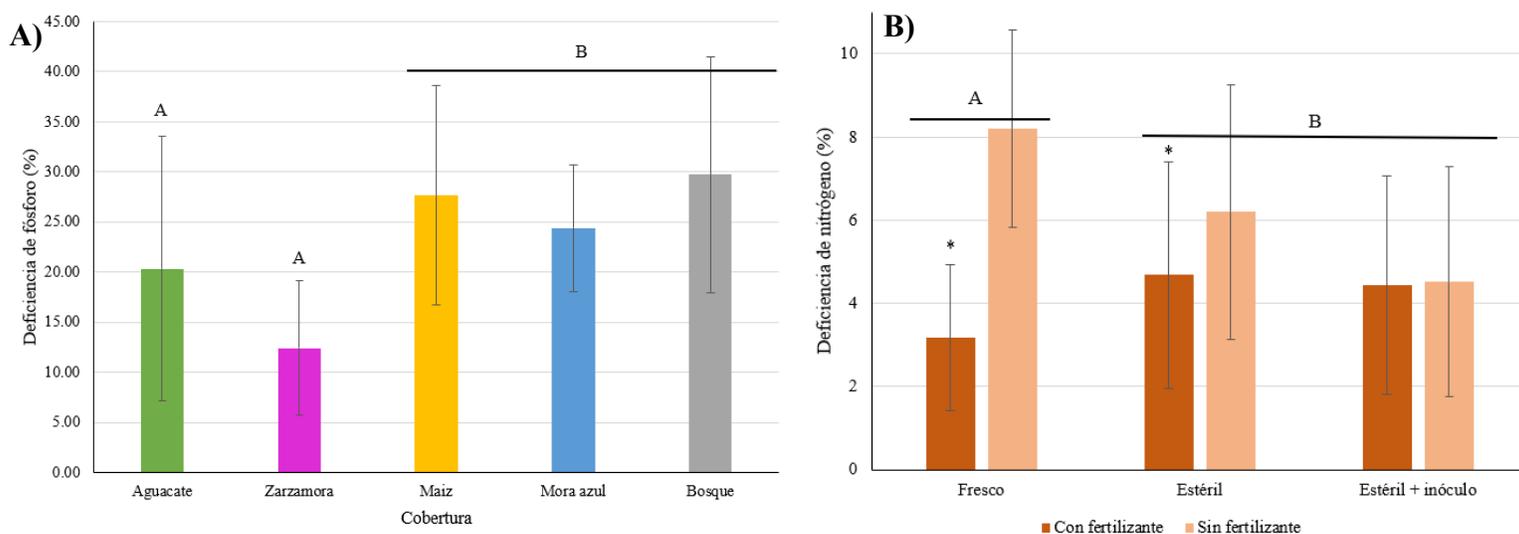


Figura 7. Porcentaje de deficiencias nutricionales evaluadas visualmente para las plantas de maíz, A) Porcentaje de deficiencia fósforo en las cinco coberturas utilizadas, B) Promedio de los porcentajes de deficiencia de nitrógeno para cada uno de los tratamientos de desinfección utilizados. Las barras representan la desviación estándar de las muestras (n variable). Las letras representan diferencias significativas entre coberturas y tratamientos utilizados y el asterisco diferencias significativas entre el porcentaje de nitrógeno obtenido con y sin fertilizante en el mismo tratamiento.

7.3 Indicadores de enfermedad

Las plantas que crecieron en suelos provenientes de cultivos de mora azul y maíz presentaron un mayor porcentaje de indicadores de enfermedad (manchas principalmente), seguidos por

aquellas que crecieron en suelos con aguacate y zarzamora, mientras que las que crecieron en suelo con bosque obtuvieron los porcentajes más bajos. Los suelos frescos presentaron porcentajes de enfermedad más bajos y, cuando fueron sometidos a un proceso de desinfección los porcentajes aumentaron (Figura 8). Sin embargo, la adición de la microbiota de los suelos con maíz y mora azul redujo significativamente el porcentaje de daño por enfermedades, mientras que la adición de la microbiota de aguacate y zarzamora no mostró ese efecto protector. Los suelos provenientes de bosque tuvieron valores muy bajos de daño por enfermedades, independientemente del tratamiento de desinfección.

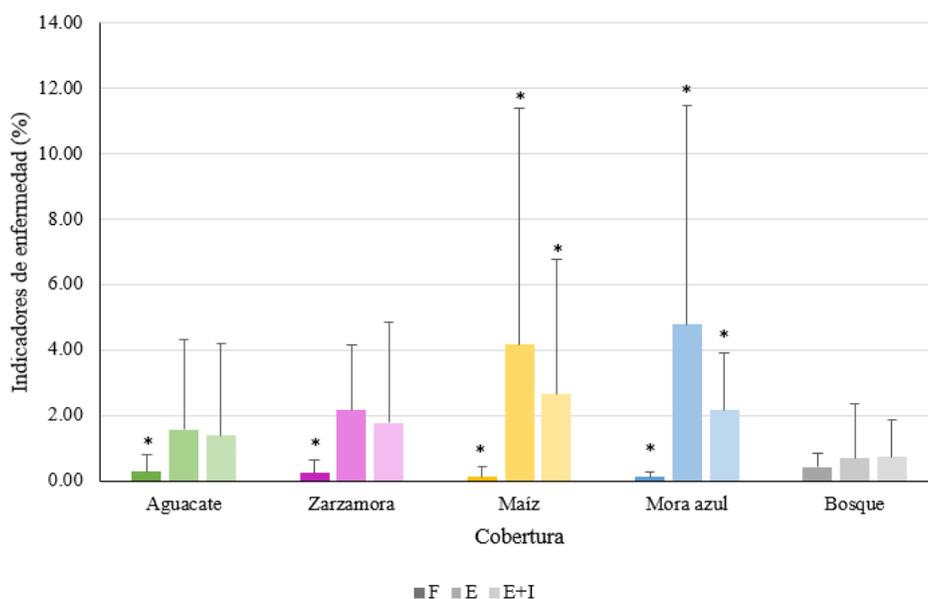


Figura 8. Promedio del porcentaje obtenido para la evaluación visual de indicadores de enfermedad (manchas) para las plantas de maíz en estadio V5 en cada cobertura y tratamientos utilizados, (F): fresco, (E): estéril, (E+I): estéril + inóculo. Las barras representan la desviación estándar de las muestras (n variable entre tratamientos). El asterisco diferencias significativas entre tratamientos en la misma cobertura.

7.4 Cocientes de respuesta

El índice propuesto para evaluar la hipótesis 2, que mide la magnitud de la limitación por nutrientes en el crecimiento vegetal en los suelos con las cinco coberturas (biomasa en suelo fresco con fertilizante \div biomasa en suelo fresco sin fertilizante) mostró que la fertilización promovió el desarrollo de biomasa en las plantas de maíz en las coberturas de aguacate, zarzamora, maíz y bosque. Tal como se esperaba, la fertilización aumentó significativamente la biomasa producida, con excepción del suelo de mora azul en el que la fertilización no tuvo ningún efecto (Figura 9). El aumento de la biomasa con la fertilización fue alrededor de 50%, lo que sugiere una baja limitación con respecto a la condición de alta disponibilidad de nutrientes.

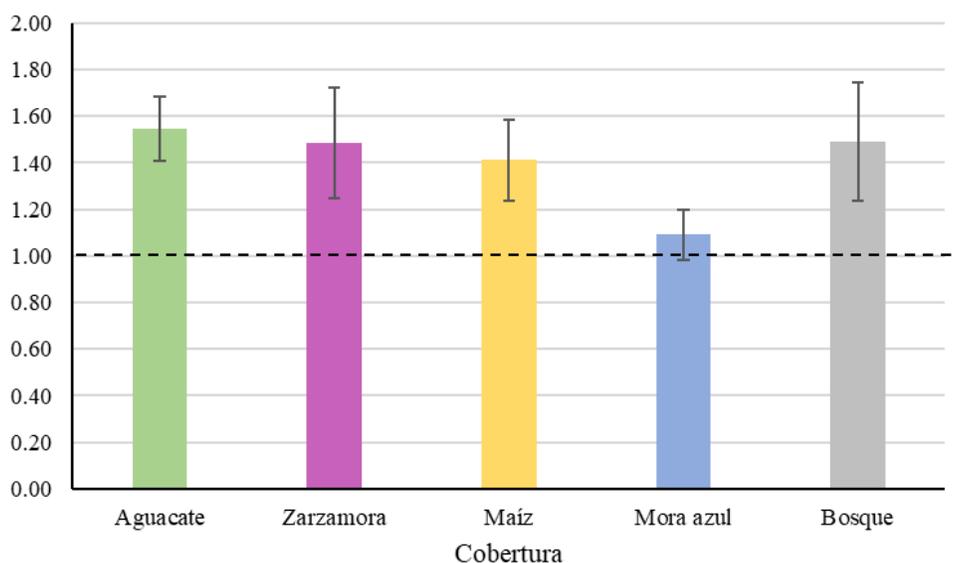


Figura 9. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo fresco con fertilizante y la obtenida en suelo fresco sin fertilizante para cada una de las coberturas utilizadas. Las barras representan los intervalos de confianza para cada cobertura, si el intervalo de

confianza se encuentra por debajo de la línea punteada, el efecto es negativo, si está arriba de la línea es positivo y si toca la línea, no hay efecto.

El cociente propuesto para evaluar la hipótesis 3, que es el efecto de la biota nativa presente en cada cobertura en la producción de biomasa (biomasa en suelo fresco sin fertilizante ÷ biomasa en suelo desinfectado sin fertilizante, Figura 10), mostró que la presencia de toda la biota nativa resultó ser benéfica para el desarrollo de las plantas sembradas en suelos provenientes de maíz, mora azul y bosque, neutra o con tendencia negativa para el aguacate y perjudicial para la zarzamora.

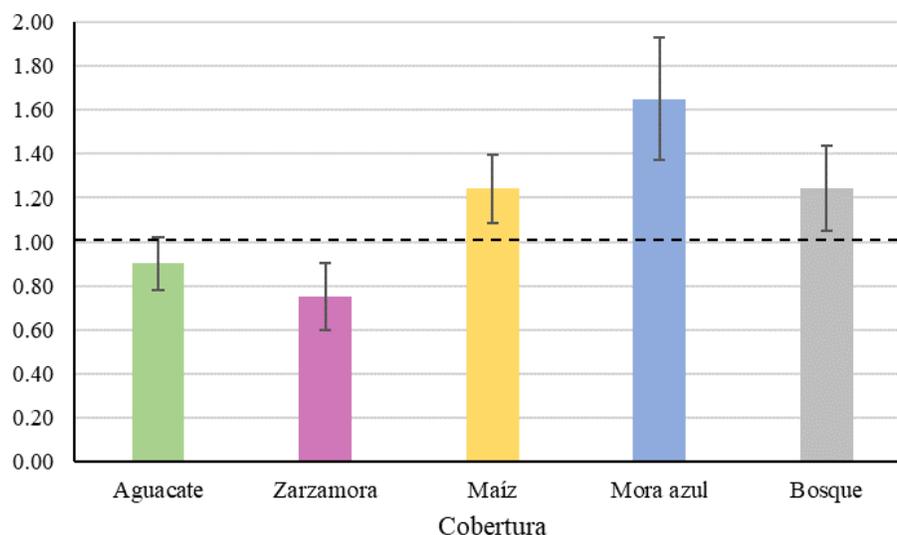


Figura 10. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo fresco sin fertilizante y suelo desinfectado sin fertilizante para las coberturas utilizadas. Las barras representan los intervalos de confianza para cada cobertura, si el intervalo de confianza se encuentra por debajo de la línea punteada, el efecto es negativo, si está arriba de la línea es positivo y si toca la línea, no hay efecto.

El cociente propuesto para la evaluación de la hipótesis 4, el efecto de la inoculación solamente de la microbiota en el suelo desinfectado sobre el crecimiento vegetal (biomasa en suelo desinfectado con inóculo de microbiota sin fertilizante \div biomasa en suelo desinfectado sin fertilizante, Figura 11), mostró que la adición del filtrado de microbiota no tuvo efecto alguno sobre la promoción del crecimiento del maíz en ninguno de los suelos provenientes de las distintas coberturas. Por lo tanto, las diferencias observadas con las plantas que crecieron con la biota completa no parecen ser atribuibles a la microbiota, si no al resto de la biota de mayor tamaño, y los resultados no apoyaron la predicción.

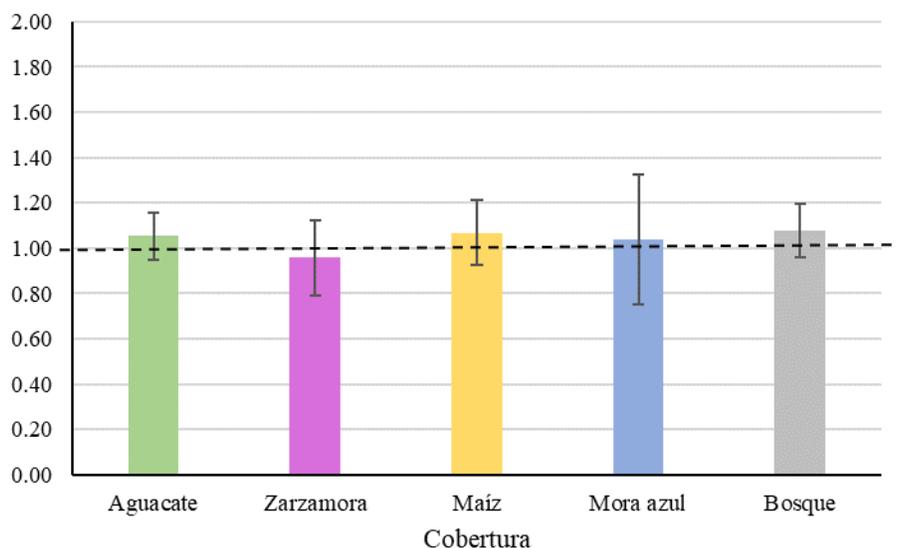


Figura 11. Cociente de los promedios de biomasa obtenida en suelo desinfectado con microbiota sin fertilizante y biomasa obtenida en suelo desinfectado sin fertilizante para las coberturas utilizadas. Las barras representan los intervalos de confianza para cada cobertura, si el intervalo de confianza se encuentra por debajo de la línea, el efecto es negativo, si está arriba de la línea es positivo y si toca la línea, no hay efecto.

El cociente propuesto para analizar si la fertilización podía compensar la pérdida de biomasa por biota perjudicial, hipótesis 5 (biomasa en suelo desinfectado con fertilizante \div biomasa

en suelo fresco con fertilizante) se evaluó solamente para la zarzamora, ya que fue la única de las coberturas que presentó una disminución de la biomasa en presencia de biota nativa. La adición de nutrientes no compensó el efecto perjudicial de la biota.

8. Discusión

Los resultados obtenidos mostraron que los suelos con cobertura de aguacate promovieron una mayor producción de biomasa y también una mayor tasa de crecimiento, y que, contrario a lo que se esperaba en la hipótesis 1, los suelos con cobertura de bosque resultaron tener algunos de los valores más bajos de biomasa, estos resultados se mantuvieron aun cuando el suelo fue sometido a procesos de desinfección.

Aunque se ha documentado que el establecimiento de huertas de aguacate ocasiona pérdida de cobertura forestal y de la diversidad, así como el cambio de uso de suelo y la contaminación por agroquímicos (Alarcón-Chaires, 2020), y que, además, estas representan una amenaza para los ecosistemas, los servicios ambientales que brindan los suelos y su biodiversidad, así como las propiedades químicas y físicas de los mismos (Pérez-Solache et al., 2023; Bravo-Espinosa et al., 2012) en este estudio estos efectos negativos no se vieron reflejadas en la promoción del crecimiento en el suelo del aguacate.

En otros estudios, se ha encontrado que, si bien las características físicas y químicas se mantienen en un mejor estado en zonas de bosque, las zonas agrícolas no distan mucho en cuanto a sus características (González, 2013). Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los obtenidos por Bonilla-Balderas (2015) en algunos sitios cercanos y por Baleón-Sepúlveda (comunicación personal, 2023) en los mismos sitios que se muestrearon para este trabajo, quienes observaron que, a pesar de encontrar algunas diferencias, los suelos de las huertas de aguacate no difieren tanto de los suelos con bosque o con agricultura anual.

No obstante, cabe mencionar que los suelos con aguacate suelen estar en mejores condiciones y los de agricultura anual peor que los suelos con bosque. En estos estudios, se mencionó que el bosque estaba siendo sometido a diferentes presiones que conducen a la degradación, como el pastoreo, la tala ilegal o la extracción no regulada, lo que hacía que sus características no fueran las óptimas aún cuando no recibe manejo agronómico actualmente.

En el caso de los bosques, como se mencionó anteriormente, los valores de biomasa obtenidos mostraron que la capacidad de los suelos de esta cobertura para promover el crecimiento fue de las más bajas. Dentro de los bosques muestreados se realizan actividades económicas que pueden llegar a afectar dicha capacidad. Se ha reportado que en Michoacán se han registrado tasas elevadas de degradación de bosques, debidas principalmente a la deforestación para el cambio de uso del suelo y/o a incendios forestales (Mas et al., 2017). Estos eventos provocan una serie de alteraciones que pueden afectar la capacidad de dichos suelos para promover el crecimiento, tal es el caso de la pérdida de biodiversidad, la erosión de suelos y la contaminación por el uso de agroquímicos en huertas cercanas y por desechos agrícolas (García et al., 2006). Así mismo, los incendios provocados han ido en aumento en el estado desde el año 2008 (Juárez, 2008), trayendo consigo una alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, afectando la productividad de los mismos (González, 2017).

Si bien los tres factores estudiados tuvieron efectos significativos sobre las variables analizadas, parece ser que la interacción entre cobertura y desinfección tuvo una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz, ya que esta resultó ser significativa para cuatro de las seis variables estudiadas (promoción del crecimiento, tasa de crecimiento, otras deficiencias nutricionales y síntomas de enfermedad). La desinfección de

suelos agrícolas se ha utilizado para obtener cultivos sanos y aumentar la productividad (Cuervo-Usán et al., 2014), especialmente en ciertos cultivos, como la fresa, plátano, hortalizas y flores cultivadas en invernadero (Carrasco-Jiménez et al., 2020) los resultados obtenidos sugerirían que la desinfección si contribuye a obtener mejores rendimientos. El efecto de la fertilización, según el cociente propuesto, fue positivo en general, tal como se esperaba, pero independientemente de la cobertura y la biota presente en el suelo, lo que sugiere que no hay una cobertura que presente condiciones de fertilidad o salud que claramente la separen del resto y nuevamente apoyan el resultado global de que el suelo mantiene propiedades y capacidades similares en todas las coberturas (Bonilla-Balderas, 2015). Esto también parece indicar que, a pesar de las prácticas de manejo asociadas a los cultivos, el suelo presenta una capacidad de resiliencia que le permite mantener las condiciones necesarias para promover el crecimiento vegetal, aunque pueda haber algunas diferencias entre sitios.

Si bien se observó que los sitios muestreados para este trabajo llevan a cabo prácticas de manejo convencionales, las cuales incluyen el uso de maquinaria agrícola y de productos fertilizantes y pesticidas químicos (Coletto, 2004), cabe la posibilidad de que los productores de estas huertas estén llevando a cabo actividades que permitan el mantenimiento de este servicio ecosistémico. Hoy en día, las prácticas alternativas de la agricultura están tomando cada vez más fuerza (Shennan et al., 2017), entre ellas se encuentra la agricultura de resiliencia, que aplica una serie de “buenas prácticas” como cubiertas vegetales permanentes, rotación de cultivos, la optimización y disminución del uso de agroquímicos, así como fomentar medidas para mantener y aumentar la biodiversidad (FAO, 2023). Otra de las prácticas que ha tomado fuerza en los últimos años es la agroecología, la cual es una

disciplina que busca integrar elementos de la agronomía, ecología, sociología y economía para lograr una producción de cultivos más amigable con el medio ambiente y con quienes lo practican como actividad económica, además de obtener productos de mejor calidad y más accesibles (Dalgaard et al., 2003). Es probable que, aunque no se esté practicando la agricultura para promover la resiliencia o la agroecología, en los sitios estudiados se mantengan algunas de las condiciones antes mencionadas que permiten el mantenimiento de la productividad del suelo. Sin embargo, esto no quiere decir que se mantendrán permanentemente, por lo que identificar que prácticas o condiciones son las que han permitido esta resiliencia para optimizarlas y mantenerlas es necesario para que el estado de los suelos se mantenga a largo plazo.

El cociente propuesto para la evaluación del efecto de la adición de fertilizante confirmó la hipótesis 2, en la que se esperaba que el fertilizante contribuyera al desarrollo de mayor biomasa, ya que la disponibilidad de nutrientes es un factor determinante para el crecimiento de las plantas y el mantenimiento de la producción (Miransari, 2011) los fertilizantes minerales se utilizan para compensar pérdidas o deficiencias de nutrientes en el suelo de una manera rápida, llegándose a considerar como esenciales para la mayoría de los suelos agrícolas sobre todo aquellos que contienen los nutrientes N, P y K (Mengel y Kirkby, 1987).

La única cobertura que no respondió de manera favorable a la adición de fertilizante fue la mora azul, que es uno de los cultivos con manejo agronómico de mayor intensidad. Además del uso de acolchado en los sembradíos, la aplicación de fertilizantes y pesticidas es continua y más intensa en comparación con el resto de las coberturas analizadas (González et al., 2017). La falta de respuesta a la fertilización, pero con baja promoción del crecimiento observados en los suelos con esta cobertura puede estar indicando que, aunque se hayan

añadido nutrientes a estos suelos, su baja capacidad para promover el crecimiento se debe a problemas que no son causados por la fertilidad del suelo. Algunos posibles problemas que podrían estar causando esta baja capacidad para promover el crecimiento podrían ser causados por la presencia de patógenos que provocan enfermedades, bacterias y/o la presencia de virus y hongos que provocan pérdidas en los cultivos de mora azul (Wright et al., 2015). La mora azul es especialmente sensible a enfermedades ocasionadas por hongos patógenos que pueden estar presentes en el suelo, por lo que la presencia de estos y otros organismos puede afectar no solo a los cultivos una vez que se encuentran establecidos, si no afectar también la capacidad de los suelos para promover el crecimiento (Leiva, 2011). Aunque es necesario realizar análisis de suelo para identificar las posibles enfermedades o patógenos que están causando esta baja promoción del crecimiento en los suelos de mora azul aun cuando se le aplica fertilizante, debido a su susceptibilidad a enfermedades, podría ser un factor importante que esté causando estos bajos rendimientos.

Para el resto de las coberturas, el fertilizante si contribuyó a un mayor desarrollo de biomasa, tal como se esperaba, ya que el uso de fertilizantes en los cultivos aumenta el rendimiento de los mismos (FAO, 2002) lo que puede estar indicando que los sitios con aguacate, zarzamora, maíz y bosque presentan una baja fertilidad que afecta la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal pero que puede ser solucionada a través de la adición de nutrientes. Sin embargo, esto debe de ser tomado con cautela ya que, si bien el uso de fertilizantes en la agricultura es una de las prácticas de manejo agrícola más utilizadas hoy en día, llegando a considerarse indispensable para tener un mayor rendimiento en los cultivos (SADER, 2019), se ha demostrado que el uso de fertilizantes minerales para aumentar la productividad trae consigo consecuencias ambientales no solamente para el suelo, sino también para otros

componentes ambientales que a largo plazo pueden provocar pérdidas en los cultivos o la alteración de los servicios ambientales que estos producen, como la lixiviación y contaminación de acuíferos con nitrógeno (Du et al., 2022). Además, se ha encontrado que el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca cambios en la actividad y composición de la biota del suelo, así como las relaciones y disponibilidad de nutrientes (Wanjiru et al., 2015; Mganga et al., 2018). Es por ello que, a pesar de que los resultados arrojaron que la fertilización si compensa la deficiencia de nutrientes, se recomienda buscar alternativas más amigables con el medio ambiente para aumentar la capacidad de promover el crecimiento de los cultivos, como, por ejemplo, abonos orgánicos, que permiten además aprovechar los desechos de los cultivos o desechos de origen animal (Ramos-Agüero y Terry-Alfonso., 2014).

La salud del suelo es otro de los factores que puede influir sobre la promoción del crecimiento vegetal (Towhid, 2013) y se encontró que para los suelos de aguacate y zarzamora el proceso de desinfección del suelo propició un mayor desarrollo de biomasa en comparación con el suelo fresco, lo que sugiere la presencia de biota nociva, o bien de biota oportunista que no causa daños graves, pero sí llega a afectar el crecimiento (De Deyn et al., 2004). En los suelos de maíz y mora azul la desinfección redujo la cantidad de biomasa, que sugiere que la biota presente es saludable y ayuda a promover el crecimiento (Orduz-Tovar et al., 2020). El manejo del suelo y su intensidad puede alterar la actividad y composición de la biota del suelo, afectando así los servicios que este brinda, entre los que se encuentra la capacidad de promover el crecimiento, la agricultura moderna ha provocado la pérdida y alteración de esta biota (Breure, 2004), es posible que para el maíz y la mora azul, las prácticas de manejo no hayan afectado la actividad de la biota, lo que resulta un poco contradictorio en el caso de la

mora azul, ya que este cultivo tiene un manejo intensivo, por lo que sería recomendable analizar si se ha modificado la composición pero no la función de la biota o si este comportamiento podrá mantenerse a largo plazo. Para el suelo de bosques no hubo efectos de la desinfección sobre la biomasa producida, lo cual es contradictorio a lo que se esperaba y podría relacionarse con las malas condiciones en las que se encuentran la mayoría de los fragmentos de bosque muestreados por el pastoreo, quemas, tala, extracción de leña y de resinas. Estos resultados pueden sugerir que las prácticas de manejo de las huertas de aguacate y zarzamora han propiciado el desarrollo y proliferación de biota oportunista, ha cambiado la estructura y funcionalidad de los grupos de biota presentes en el suelo o se han establecido relaciones parasitarias, lo que se ha documentado en sitios que reciben mayores índices de fertilidad o prácticas de manejo intensas (De Deyn et al., 2004; Postma et al., 2010; Luo et al., 2017).

Según el cociente propuesto, la presencia de biota nativa resultó ser benéfica para el crecimiento de las plantas sembradas en suelos provenientes de maíz, mora azul y bosque, mientras que con el suelo de aguacate no tuvo efecto o mostró una tendencia negativa y con el suelo de zarzamora tuvo un efecto negativo. Esto confirma en parte la hipótesis 3, que establecía que la presencia de biota nativa sería benéfica para el desarrollo de biomasa y apariencia física de las plantas, ya que, si bien no resultó benéfica para todos los suelos de todas las coberturas, propició el crecimiento en dos de las coberturas con manejo agronómico nulo o moderado. Esto puede deberse a que en aquellas zonas de manejo agronómico de baja intensidad la biota mantiene las interacciones y funciones con menos alteraciones, lo que beneficia a la planta (Towhid, 2013).

En el caso del suelo con mora azul, en donde el manejo es más intenso y la biota resultó ser benéfica, resulta contradictorio, como ya se ha mencionado, porque en las coberturas con mayor manejo la biota puede resultar contraproducente (Nyamwange et al., 2018), probablemente esto se relacione con que este cultivo suele hacerse bajo acolchado plástico sin la presencia de otras plantas y otros organismos, lo cual le confiere un ambiente muy distinto para la actividad biológica y que puede estar ayudando a regular las poblaciones de organismos dañinos (Undarraga y Vargas, 2013).

El que la adición de microbiota a través del filtrado no mostrara un efecto significativo para el desarrollo de biomasa en el suelo de ninguna de las coberturas, no apoya la hipótesis 4, en donde se esperaba que la presencia de esta porción de la biota del suelo fuera benéfica para las coberturas con manejo moderado y perjudicial para aquellas con manejo más intenso. Si bien se sabe que la microbiota del suelo es indispensable para el aprovechamiento de nutrientes para las plantas, defensa de enfermedades, da estructura y fertilidad al suelo y, más importante para este estudio, impulsa la promoción del crecimiento de las plantas (Cruz-Cárdenas et al, 2022), en este estudio no se encontró o se vio reflejada esta influencia, lo cual sugiere que las diferencias observadas entre el suelo fresco y el suelo completamente desinfectado podrían atribuirse en este caso a la meso y macrobiota que se eliminó del filtrado. Esta biota incluye a los hongos micorrízicos arbusculares y fauna como los depredadores de la microbiota (nematodos, artrópodos) y recicladores del material orgánico (anélidos, artrópodos y pequeños mamíferos) (Cabrera-Dávila et al., 2014).

Para corroborar la actividad de la microbiota y su efecto sobre las plantas, debería realizarse además un análisis que permita identificar si existieron asociaciones de dicha fracción de la biota del suelo (bacterias y hongos) con las plantas de maíz utilizadas en el desarrollo de este

trabajo o si estas asociaciones son más notorias en el suelo fresco, tal y como se recolectó de campo.

En el caso del suelo con zarzamora se encontró que la presencia de la totalidad de la biota resultó perjudicial para el desarrollo del maíz, por lo que debería de hacerse un estudio más detallado del tipo de biota que puede estar causando posibles problemas de crecimiento para poder solucionarlo. Sin embargo, según lo analizado, parece que este tipo de suelos se enfrenta a posibles problemas de salud causados por presencia de biota no benéfica y que, aunque se le añada fertilizante, este no llega a compensar las pérdidas de biomasa causadas por biota perjudicial. Aunque en las otras coberturas resultó benéfica o neutra, también sería bueno identificar qué tipo de biota se encuentra presente y como las prácticas de manejo pueden cambiar su composición o actividad en un futuro.

8.1 Deficiencias nutricionales y de salud

En general, en las dos deficiencias nutricionales evaluadas visualmente se encontró un comportamiento muy variable entre sitios y tratamientos. De las dos deficiencias nutricionales evaluadas visualmente en las plantas de maíz, la deficiencia de fósforo se presentó en más sitios y en mayor porcentaje. Los suelos con mora azul, maíz y bosque presentaron mayores porcentajes tanto de deficiencias nutricionales como de síntomas de enfermedad y, además, los porcentajes obtenidos fueron similares. Esto coincide con que los suelos de estas coberturas obtuvieron los menores promedios de biomasa, por lo que podrían asociarse estos efectos a la poca promoción del crecimiento, pero para afirmarlo habría que confirmar con análisis químicos foliares. Sin embargo, no puede hablarse de problemas fuertes de salud o atribuir a esto la totalidad del poco desarrollo de biomasa, ya que los

porcentajes de síntomas de enfermedad fueron muy bajos, y si bien influyen, pueden ser solo un factor de muchos que afectan esta capacidad.

Para el fósforo se encontró que el mayor porcentaje de deficiencia estaba en los suelos provenientes de bosque. Los altos porcentajes de deficiencia de fósforo pueden deberse a que los suelos con propiedades ándicas de la zona de estudio tienen una alta capacidad de retención de fosfatos, lo que puede llegar a afectar la nutrición de las plantas (Alcalá de Jesús et al., 2009). Debido a esta característica pudo haber sucedido que, aunque se añadió fósforo a través de la fertilización, éste fue retenido en el suelo y no pudo ser aprovechado por las plantas. Esto también puede explicar por qué las plantas no mostraban mejorías en su apariencia física cuando el fertilizante fue añadido directamente en el suelo y se tuvo que añadir también foliarmente (Fernández et al., 2015). Es posible que los suelos de bosque, al tener menor grado de alteración y no tener fertilización, hayan mantenido esta característica, lo que ayudaría a explicar porque en estos suelos los porcentajes de deficiencia de fósforo fueron mayores.

Aunque para este estudio no se midió el pH del suelo, esta podría ser una característica importante que determina la cantidad de nutrientes en el suelo. En el caso del fósforo, este se encuentra más disponible en suelos con pH neutro o con alcalinidad alta (Ibáñez, 2007). Puede ser que los suelos utilizados tuvieran un pH muy ácido, lo cual es también una característica de los suelos ándicos, lo que influyó en los altos porcentajes obtenidos para la deficiencia de este nutriente, sin embargo, se tendrían que estudiar con mayor profundidad los suelos utilizados en este estudio para comprobarlo.

Para el nitrógeno se encontró que las deficiencias se redujeron en las plantas que tuvieron fertilizante. Debido a que el maíz es una planta con altos requerimientos nutricionales de

nitrógeno, la adición del mismo a los suelos a través del fertilizante ha sido una práctica muy utilizada para satisfacer estas necesidades, además de que este elemento es considerado, juntos con otros nutrientes, de los elementos esenciales para la gran mayoría de cultivos (Ciampitti et al., 2010), los resultados obtenidos mostraron que el añadir fertilizante si contribuye a disminuir las posibles deficiencias de este nutriente en el suelo, y que las plantas pudieron acceder de manera eficiente al mismo. El nitrógeno es considerado uno de los elementos que influye más fuertemente en el crecimiento vegetal y en el rendimiento de los cultivos, por lo que la fertilización nitrogenada suele ser una alternativa para obtener mejores resultados en los cultivos (Benimeli et al., 2019), en este estudio se reflejó el efecto positivo de esta práctica, sin embargo, se debe de tener cuidado para evitar un excesivo suministro de este nutriente a través de los fertilizantes.

Las deficiencias de nitrógeno disminuyeron al someter el suelo a un proceso de desinfección, especialmente en el suelo al que se le agregó filtrado de microbiota, lo que puede estar indicando que una parte de la biota nativa contribuye al aprovechamiento de este nutriente, ya sea al convertir al nitrógeno a formas aprovechables por las plantas o estar contribuyendo directamente a la toma del mismo. Durante el proceso de desinfección se eliminó toda la biota presente, y en el caso de aquellos a los que se les agregó filtrado de microbiota, también se eliminó una parte importante de la biota que contribuye al aprovechamiento de este elemento por parte del maíz, los hongos micorrícicos arbusculares (Pérez-Luna et al., 2012), estos hongos, al crear asociaciones con las plantas le permiten tener una mayor y más eficiente aprovechamiento de nutrientes, incremento en la producción de biomasa, entre otras ventajas (Herrera-Parra et al., 2022). Es posible que, aunque se haya eliminado esta parte de la biota, algún otro microorganismo contribuyera a la toma de nitrógeno o que hayan quedado

remanentes de estos hongos en el filtrado, lo que puede contribuir a el aprovechamiento de nitrógeno por parte de las plantas de maíz.

Las características visuales evaluadas para identificar deficiencias nutricionales en el maíz se refieren en su mayoría a las deficiencias de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), ya que se ha detectado que estas son las más comunes en este cultivo (Restrepo-Díaz, 2017).

Las características reportadas para la deficiencia de estos nutrientes coinciden con las utilizadas en este trabajo, sin embargo, se han utilizado escalas físicas de colores que permiten hacer una comparación rápida y más certera (Zambrano et al., 2021), lo que habría facilitado el trabajo de valorar visualmente las deficiencias nutricionales y también tener más certeza de que correspondieran al nutriente que se reportó.

En cuanto a los síntomas de enfermedad, los cuales incluyeron principalmente la presencia de manchas y necrosis en las hojas, se encontró que las plantas de los suelos con mora azul y maíz presentaron un mayor porcentaje de estos síntomas, seguidos por la zarzamora, el aguacate y, por último, el bosque. Esto podría indicar que hay algún problema de salud en estos suelos que provocó una producción de biomasa aérea baja en los suelos con esta cobertura incluso con fertilización (Thowid, 2013).

Llama la atención que en aquellos suelos que fueron sometidos a un proceso de desinfección por medio de la esterilización, presentaron mayores porcentajes de estos síntomas en comparación con los suelos frescos. La biota del suelo regula una amplia variedad de servicios ecosistémicos indispensables para el ambiente y para los agroecosistemas, entre ellos podemos encontrar la protección a las plantas de distintas enfermedades y la regulación de plagas (Orduz et al., 2020). Es posible que, al eliminar la biota del suelo a través de la desinfección, algunos microorganismos que causan enfermedades hayan llegado a

establecerse en los bioensayos con los que se estaba experimentando, y debido a que no tenían depredadores, estos proliferaron con mayor éxito y atacaron a las plantas, lo que explicaría por qué los suelos desinfectados presentaron mayores porcentajes de síntomas de enfermedad que los suelos frescos.

Además, como en el caso de las deficiencias de nitrógeno, se ha encontrado que una parte importante de la biota que brinda protección y resistencia a las plantas contra plagas y enfermedades, y otros eventos de estrés, son los hongos micorrícicos arbusculares (Pérez-Luna et al., 2012), Al ser eliminados a través de la esterilización del suelo, también se eliminó la protección que estos brindaban a la planta, por lo que se vieron más afectadas por síntomas de enfermedades aquellas plantas cultivadas en estos suelos. Además, se ha encontrado que en sitios con cultivos agrícolas donde se aplican prácticas de manejo intensivas, el establecimiento de relaciones simbióticas con estos hongos disminuye, afectando la promoción del crecimiento y aumentando la vulnerabilidad de la planta a ataques de patógenos (Ramírez-Flores et al., 2020), lo que ayudaría a explicar porque los suelos con cultivos agrícolas presentaron mayores porcentajes de estos síntomas que el suelo de bosques.

Es importante recordar que la evaluación de deficiencias nutricionales y síntomas de enfermedad se realizó visualmente, por lo que podría estar sesgada de acuerdo con la percepción de quien la haya realizado, es por eso que se recomiendan análisis posteriores, como análisis de nutrientes foliares, mediciones de clorofila, etc., para poder corroborar que las deficiencias coincidan con lo reportado.

Si bien en este estudio se obtuvo que los suelos provenientes de huertas de aguacate promueven un mayor y sano crecimiento de las plantas de maíz, antes de sugerir que este cultivo es mejor para el suelo y su capacidad de promoción del crecimiento, hay que tener en

consideración las problemáticas ambientales actuales. El cambio climático es uno de los principales problemas que pueden alterar las condiciones de los suelos, y como consecuencia, los servicios ambientales que brindan, entre ellos la capacidad de promover el crecimiento vegetal (IPCC, 2020).

Según modelos desarrollados, se estima que la producción de aguacate se extienda a un área de 3306.45 km² en el estado de Michoacán para el año 2050, manteniendo la tendencia de expansión actual, dicha expansión continuará agravando las condiciones climáticas ocasionando que no sea posible mantener la expansión a largo plazo (Denvir, 2023)

Con esto, podemos decir que, aunque los suelos provenientes de aguacate hayan mostrado una mayor promoción del crecimiento en las plantas del maíz, no es sinónimo de que la expansión de este cultivo sea buena a largo plazo para los suelos, sino que se deben de tomar acciones para mantener la capacidad de promover el crecimiento que ha presentado.

Es bien sabido que cubrir la necesidad de alimento mundial es una de las principales preocupaciones actuales (Banco Mundial, 2020). Tener una buena producción es importante no solo para los consumidores sino también para los agricultores u otras personas que tienen en esta actividad sustento económico y forma de vida (Banco Mundial, 2023). Aunque a corto plazo pueda parecer que los servicios que brinda el suelo se están manteniendo, la información debe de tomarse con sumo cuidado para evitar que la franja agrícola se siga expandiendo al ritmo y bajo las condiciones con que lo ha hecho.

A pesar de que los suelos de aguacate y zarzamora pueden promover un mejor crecimiento de las plantas, es importante recordar que el cambio de uso de suelo, así como las prácticas convencionales de manejo han afectado las condiciones y servicios brindados por el suelo,

afectando la productividad, los ciclos de los nutrientes, condiciones del aire y el agua, etc., además de otras implicaciones socioeconómicas a otras escalas (Borrelli et al., 2013).

9. Conclusiones

Los resultados de las dos variables de promoción de crecimiento no apoyaron la hipótesis 1, en la que se esperaba que la cobertura natural (bosque) mostraría una mayor capacidad para promover el crecimiento vegetal en comparación con las coberturas agronómicas, lo que puede significar que la intensidad del manejo agronómico no influye en la capacidad de los suelos para promover el crecimiento vegetal. Pero convendría conocer la historia de manejo de los sitios para saber cómo puede estar influyendo.

El tratamiento de fertilización selectiva fue efectivo para detectar en que coberturas pueden estar ocurriendo problemas de fertilidad que pueden ser corregidos a través de la adición de nutrientes, sin embargo, es importante recordar que los fertilizantes minerales no son la única opción para fertilizar y que, dada la situación ambiental actual, es recomendable buscar formas menos dañinas para el ambiente que puedan aportar nutrientes a las plantas.

El tratamiento de desinfección selectiva permitió identificar las coberturas en las que la biota nativa fue benéfica, es decir, promovía el crecimiento y en cuales tuvo mejores resultados eliminarla. Tal como se esperaba, en la cobertura natural (bosque) y en los cultivos con manejo moderado la presencia de biota resultó benéfica, lo que puede indicar que la biota de estas zonas mantiene sus funciones y promueve el crecimiento vegetal.

A pesar del papel indispensable que tiene la microbiota en el crecimiento de las plantas, en este estudio no se encontraron efectos de esta porción de la biota sobre el crecimiento de la

planta modelo, lo que podría indicar que la microbiota de estos suelos no está ayudando a los cultivos a crecer o que el inóculo utilizado no fue efectivo.

La evaluación visual permitió identificar las posibles deficiencias nutricionales y de salud que pueden estar presentando los suelos y que afectan a los cultivos, siendo las deficiencias de fósforo y nitrógeno las más visibles en las plantas de maíz, pero se recomiendan estudios a mayor profundidad para identificar que efectivamente se trate de estas deficiencias.

Los porcentajes de deficiencia de fósforo señalaron que la cobertura natural y con manejo moderado presentaron mayores porcentajes, mientras que los de nitrógeno aumentaron al agregar fertilizante, pero disminuyeron al desinfectar el suelo.

Para los objetivos del presente trabajo y las variables evaluadas, el uso de bioensayos resultó ser una herramienta útil, sencilla y accesible para identificar los problemas que pueden estar ocasionando la pérdida de los servicios ambientales que brindan los suelos agrícolas, específicamente la capacidad de promover el crecimiento vegetal, lo que puede provocar pérdidas o malas producciones en los cultivos elegidos.

10. Perspectivas

Es importante considerar que los cultivos por sí mismos no son los causantes de la pérdida de la capacidad del suelo para promover el crecimiento. Las prácticas actuales de manejo agrícola y el tipo de agricultura que se impulsan y se practican no son sostenibles. Con el tiempo se pueden perder los suelos y los servicios que brindan. Sobre todo, la promoción del crecimiento de los cultivos se trata de un servicio vital para la humanidad a través del cual obtiene alimento e/o ingresos económicos (Rojas et al., 2014).

No se trata de intentar eliminar todas las áreas con cultivos de aguacates, de frutillas o de otros cultivos, eso, con las necesidades poblacionales actuales es imposible. Pueden implementarse prácticas alternativas que permitan el mantenimiento e incluso la mejoría de los servicios ambientales que son brindados por los suelos agrícolas.

Sin embargo, incluso con estas alternativas, la degradación de los suelos y del ambiente en general será inevitable si no se regula y ordena la expansión de los cultivos y el uso de suelo en el territorio.

Para reforzar los datos obtenidos en este estudio se recomiendan análisis posteriores como análisis químicos para determinar niveles de fósforo y nitrógeno en las plantas, identificación de biota dañina o benéfica presente en los suelos y análisis de raíces para identificar si el filtrado de microbiota fue efectivo.

Conocer y caracterizar la historia de manejo de los sitios de donde se muestreo el suelo contribuiría a entender como esta ha afectado la capacidad del suelo para promover el crecimiento e influyó en los resultados obtenidos.

Referencias

- Alarcón-Cháires, P. (2020). Aguacate: El desierto verde mexicano. *Diálogos Ambientales*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1-6.
- Alcalá de Jesús, M., Hidalgo, C. y Gutiérrez, M. (2009). Mineralogía y retención de fosfatos en andisoles. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 1-13.
- Alcántar, J., Anguiano, J., Coria, V., Hernández, G. y Ruiz, J. (1999). Áreas potenciales para el cultivo del aguacate (*Persea americana cv. Hass*) en el estado de Michoacán, México. *Revista Chapingo serie horticultura*, 5(151), 1-9.
- Ávila-Cervantes, R., Mancilla-Montelongo, G., González-Pech, P., Sandoval-Castro-C. y Torres-Acosta, F. (2019). Bioensayos in vitro de relevancia en las ciencias biológicas y agropecuarias. *Bioagrobiencias*, 12(1), 1-8.
- Baleón-Sepúlveda, M.A., (En preparación). Mantenimiento de la multifuncionalidad del suelo y su relación con las prácticas agronómicas [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Banco Mundial. (2020). Tierras agrícolas (% del área de tierra). <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS>. Consultado el 18 de abril de 2023.
- Banco Mundial. (2023). Agricultura y alimentos: Panorama general. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview#:~:text=La%20agricultura%20puede%20ayudar%20a,dedican%20principalmente%20a%20labores%20agr%C3%ADcolas>. Consultado el 20 de julio de 2023.

- Barbazán, M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutrientes. Facultad de Agronomía de la Universidad de la República Montevideo-Uruguay, 1-27.
- Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological economics*, 64, 1-17. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.03.004
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F. y Fernández, J. (2019). El nitrógeno del suelo. Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán.
- Bommarco, R., Vico, G. y Hallin, S. (2018). Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global food security*, 17, 1-7. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.04.001
- Bonilla-Balderas, V. (2015). Calidad del suelo en bosques de pino, huertas aguacateras y parcelas agrícolas de Michoacán, México. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio digital UNAM: https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/214TL4ILFMMFS7BQB3MIGXDFY5XKE3KI1JBE4T4JSSI42NK772-23201?func=full-set-set&set_number=936181&set_entry=000002&format=999
- Borrelli, P., Robinson, D., Fleischer, L., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L. y Panagos, P. (2013). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature communications*, 8, 1-13. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7.

- Bravo-Espinosa, M., Mendoza, M., Allende, T., Medina L., Sáenz, J. Y Páez, R. (2012). Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-mexican volcanic system, Mexico. *Land degradation & development*, 25(5), DOI: 10.1002/ldr.2163
- Brechelt, A. (2004). Manejo ecológico del suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA), Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina, Chile, 1-10.
- Breure, A. (2004). Soil biodiversity: measurements, indicators, threats and soil functions. I International conference: Soil and compost eco-biology, Spain.
- Brito-Vega, H., Espinosa-Victoria, D., Salaya-Domínguez, J. y Gómez-Méndez, E. (2013). The soil biota: Importance in agroforestry and agricultural systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 1-10.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 1-8. DOI: 10.22267/rcia.163302.58.
- Calvo-Araya, J. (2021). Suelos supresivos y su papel en el manejo de enfermedades. *Environment & Technology*, 2(1), 1-16. DOI: 10.56205/ret.2-1.3
- Cabrera-Dávila, G., Socarrás, A., Gutiérrez-Cubría, E., Tcherva, T., Martínez-Muñoz, C. y Lozada-Piña, A. (2017). Fauna del suelo. En *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas*, Mancina, C y Cruz, D (Eds). 254-283.

- Carrasco-Jiménez, J., Vega-Candia, B. y Torres-Pinto, A. (2020). Biofumigación, una alternativa orgánica para la desinfección de suelos en invernaderos. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA) Centro regional Rayentué, Chile, 1-20.
- Castillo-Valdez, X., Etchevers, J.D., Hidalgo-Moreno, C. y Aguirre-Gómez, A. (2021). Soil quality evaluation: generation and interpretation of indicators. *Tierra Latinoamericana*, 39, 1-12. DOI: 10.28940/terra.v39i0.698.
- Challenger, A. (2009). Introducción a los servicios ambientales. Seminario de divulgación; servicios ambientales: sustento de la vida. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales.
- https://tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/sernapam.tabasco.gob.mx/files/dpcc_introduccion_servicios_ambientales.pdf. Consultado el 14 de septiembre de 2022.
- Ciampitti, I., Boxler, M., y García, F. (2010). Nutrición de Maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. *Requerimientos de nutrientes en maíz*, 1-5.
- Coletto, J. (2004). Agricultura convencional y agriculturas alternativas. Universidad de Extremadura, España. 1-12.
- Correa-Díaz, F. (2006). Manual de laboratorio de bioensayos. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, 1-10.
- Cruz-Cárdenas, C., Zelaya-Molina, L., Sandoval-Cancino, G., de los Santos-Villalobos, S., Rojas-Anaya, E., Chávez-Díaz, I. y Ruíz-Ramírez, S. (2021). Using microorganisms for a sustainable agriculture in Mexico: considerations and challenges. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 1-15.

- Cuervo-Usán, Y., Tornos-Mauri, P., Hernández-Domínguez, J., Orihuela-Calvo, D., Domínguez-Hernández, M. y Moreno-Martínez, E. (2014). Eficacia de peróxidos en la desinfección de suelos aptos para el cultivo de fresa en el Mediterráneo. *Rev. Fitotec. Mex*, 37(4), 1-6.
- Dalgaard, T., Hutchings N. y Porter, J. (2003). Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 100, 1-13. DOI: 10.1016/S0167-8809(03)00152-X
- Dazzi, C. y Lo Papa, G. (2022). A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. *International Soil and Water Conservation Research*, 10, 1-10. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.07.001
- De Deyn, G., Raaijmakers, C. y Van Der Putten W. (2004). Plant community development is affected by nutrients and soil biota. *Journal of Ecology*, 92, 824-834. DOI: 10.1111/j.0022-0477.2004.00924.x
- Delgado, M., Reich, P., Trivedi, C., Eldridge, D., Abades, S., Alfaro, F., Bastida, F., Berhe, A., Cutler, N., Gallardo, A., García, L., Hart, S., Hayes, P., He, J., Hseu, Z., Hu, H., Kirchmair, M., Neuhauser, S., Pérez, C., Singh, B. (2020) Multiple elements of soil biodiversity drive ecosystem functions across biomes. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 210-220. DOI: 10.1038/s41559-019-1084-y.
- Denslow, J., Vitousek, P., y Schultz, J. (1987). Bioassays of nutrient limitation in a tropical rainforest soil. *Oecologia*, 74. 370-376.

- Denvir, A. (2023). Avocado expansión and the threat of forest loss in Michoacán, Mexico under climate changes scenarios. *Applied Geography*, 15, 1-9. DOI: 10.1016/j.apgeog.2022.102856.
- Dominati, E., Patterson, M. y Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics*, 69, 1-11. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2010.05.002
- Du, X., Liu, H., Li, Y., Li, B., Han, X., Li, Y., Mahamood, M. y Li, Q. (2022). Soil community richness and composition jointly influence the multifunctionality of soil along the forest-stepp ecotone. *Ecological Indicators*, 139(2022), 1-11. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108900
- Estrada, F. (2018). Indicadores de calidad del suelo y productividad en cultivos de maíz bajo diferentes tipos de manejo: una integración entre la percepción de los productores y la ecología funcional de las plantas y suelos [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio digital UNAM: https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000769627.
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes, 1-10. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>. Consultado el 19 de julio de 2023.
- FAO. (2015). Suelos sanos como base para la producción de alimentos saludables. <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>. Consultado el 25 de julio de 2023.

- FAO. (2023). Buenas prácticas sobre resiliencia. <https://www.fao.org/capacity-development/resources/good-practices/resiliencia/es/#:~:text=La%20FAO%20define%20la%20resiliencia,las%20amenazas%20que%20afectan%20a>. Consultado el 12 de mayo de 2023.
- Fernández, V., Sotiropoulos, T. y Brown, P. (2015). Fertilización foliar: Principios científicos y práctica de campo. Asociación internacional de la industria de fertilizantes (IFA), París, Francia.
- García, J., Muñoz, J., Sáenz, T. y García, J. (2006). Plantaciones forestales en la sierra Purépecha de Michoacán. *Rev. Ciencia Forestal en México*, 31(99), 1-19.
- Gobierno municipal de Ario de Rosales. (2021). Medio físico de Ario. <https://ario.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico#:~:text=Se%20localiza%20en%20el%20centro,con%20Nuevo%20Urecho%20y%20Taretan>. Consultado el 13 de septiembre de 2022.
- Gobierno municipal de Madero. (2018). Municipio: características principales. <https://madero.gob.mx/municipio/>. Consultado el 14 de septiembre de 2022.
- González, A., Riquelme, J., France, A., Uribe, H., Robledo, P., Morales, C., Hirzel, J., Pedreros, A., Defilippi, B. y Becerra, C. (2017). Manual de manejo agronómico del arándano. Instituto de Desarrollo Agropecuario, Chile.
- González, F. (2017). Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna. Departamento de estudios, extensión y publicaciones del congreso nacional de Chile, 1-8. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACION>

Howard, A. (1947). The soil and health, farming and gardening for health or disease. 1-45, Oxford City Press.

Ibáñez, J. (2007). Biodisponibilidad de los nutrientes por las plantas, pH del suelo y el complejo de cambio o absorbente. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/09/65262>. Consultado el 26 de junio de 2023.

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT). (2019). XXXIV congreso de instrumentación: aspectos generales. <http://www.somi.icat.unam.mx/somi34/morelia.html>. Consultado el 15 de septiembre de 2022.

Instituto municipal de planeación (Implan) Morelia. (2018). Datos geográficos y del ambiente: Superficie municipal y localización. <https://implanmorelia.org/site/datostema/geograficos/#:~:text=El%20municipio%20de%20Morelia%20se,sobre%20el%20nivel%20del%20mar>. Consultado el 17 de septiembre de 2022.

Instituto municipal de planeación (Implan) Uruapan. (2021). Planeando el futuro: Uruapan 2033. https://implanuruapan.gob.mx/wp-content/uploads/2021/01/PLAN_2033.pdf. Consultado el 17 de septiembre de 2022.

Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI). (2017). Información por entidad: Michoacán de Ocampo. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/default.aspx?tema=m&e=16>. Consultado el 13 de septiembre de 2022.

- IPCC. (2020). El cambio climático y la tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres, resumen para responsables de políticas, 1-20.
- Janvier, C., Villeneuve, F., Alabouvette, C., Edel-Hermann, V., Mateille, T. y Steinberg, C. (2007). Soil health through soil disease suppression: Wich strategy from descriptors to indicators? *Soil Biology and Biochemistry*, 39. DOI: 10.1016/J.soilbio.2006.07.001
- Jaramillo, D. (2009). Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un andisol hidromórfico del oriente antioqueño (Colombia). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellin*, 62(1), 4907-4910.
- Jayaraman, S., Naorem, A., Lal, R., Dalal, R., Sinha, N., Patra A. y Chaudhari, S. (2021). Disease-Suppressive Soils-Beyond Food Production: a Critical Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 1-29. DOI: 10.1007/s42729-021-00451-x
- Juárez, S. (2008). Un modelo de riesgo de incendio en Michoacán, México. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio digital UNAM: http://132.248.9.195/ptd2008/noviembre/0635526/0635526_A1.pdf
- Kant, R., Tripathi, V., Prabha, R., Chaurasia, R., Pratap, D., Srinivasa, Ch., El-Keblawy, A., Chirakkuzhyil, P. (2020). Belowground Microbial Communities: Key Players for Soil and Environmental Sustainability. En *Unravelling the Soil Microbiome: Perspectives for Environmental Sustainability*, 17-38.

- Keddy, C., Greene, J. y Bonnell, M. (1995). Review of Whole-Organism Bioassays: Soil, Freshwater Sediment, and Freshwater Assessment in Canada. *Ecotoxicology and environmental safety*, 30, 221-251.
- Lammel, D., Nüsslein, K., Cerri, C., Veresoglou, S. y Rillig, M. (2021). Soil biota shift with land use change from pristine rain forest and Savannah (Cerrado) to agriculture in southern Amazonia. *Molecular Ecology*, 30, 4899-4910. DOI: 10.1111/mec.16090.
- Leiva, L. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora: Medidas para la temporada invernal. ICA. 13-23.
- Li, M., Guo, J., Ren, T., Luo, G., Shen, Q., Lu, J., Guo, S. y Ling, N. (2021). Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 319, 2-9. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107550
- López, M., López de Rojas, I., España, M., Izquierdo, A. y Herrera, L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arburculares en plantaciones de *theobroma cacao*. *Agronomía Tropical*, 57(1).
- Luo, S., De Deyn, G., Jiang, B. y Shixiao Yu. (2017). Soil biota suppress positive plant diversity effects productivity at high but not low soil fertility. *Journal of Ecology*, 105, 1766-1774. DOI: 10.1111/1365-2745.12773
- Mas, JF., Lemoine, R., González, R., López, J., Piña, A. y Herrera, E. (2017). Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. *Madera y bosques*, 23(2), 119-129. doi:10.21829/myb.2017.2321472

- Mganga, K. y Kuzyakov, Y. (2018). Land use and fertilisation affect priming in tropical andosols. *European Journal of Soil Biology*, 87, 9-16. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2018.04.001
- Milpal. (2021). Nuestros productos: Subtropical-H318. <https://semillasmilpal.com.mx/h318/>. Consultado el 20 de septiembre de 2022.
- Miransari, M. (2011). Soil microbes and plant fertilization. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 92, 1-11. DOI: 10.1007/s00253-011-3521-y.
- Mokrani, S. y Nabti, E. (2021). Microbes Associates with Crops: Functional Attributes for Crop Productivity. En *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture*, Nath Yadav, A (Ed), 53-70.
- Montiel, C., Gallegos, A., Ortega, A., Bautista, F., Gopar, F. y Velázquez, A. (2019). Análisis climático para la agricultura de temporal en Michoacán, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(17), 307- 310. DOI: 10.19136/era.a6n17.1972.
- Moreno, H., Ibáñez, S. y Gisbert, J. (2010). Andisoles. Universidad Politécnica de Valencia. 1-7.
- Nyamwange, M., Mugendi, E., Mucheru, M. y Ngetich, F. (2018). Soil management practices affect arbuscular mycorrhizal fungi propagules, root colonization and growth of rainfed maize. *Agriculture and Food*, 3(2). 120-134. DOI: 10.3934/agrfood.2018.2.120
- Ochoa, M. (2020). El aguacate: el oro verde que provoca estragos ambientales. World Economic Forum. <https://es.weforum.org/agenda/2020/03/el-aguacate-el-oro-verde-que-provoca-estragos-ambientales/>

- Orduz-Tovar, S., Machado-Cuéllar, L. y Rodríguez-Suárez, L. (2020). Importancia de la biota edáfica para la productividad en agroecosistemas. *Nova*, 6, 3-13. DOI: 10.23850/issn.2500-4476/.
- Ortiz, C. (2017). Agricultura y economía municipal en Michoacán desde una perspectiva de vulnerabilidad. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 6(12), DOI: 10.23913/ciba.v6i12.69
- Pentreath, V., González, E., Barquín, M., Ríos, S. y Perales, S. (2015). Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para evaluar un derrame de petróleo. *Salud Ambiental*, 15(1), 14-18.
- Pérez-Luna, Y., Álvarez-Solís, J., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J., Gómez-Álvarez, R., y Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Bot*, 69(1), 1-11.
- Pérez-Solache, A., Vaca, M., Maldonado, Y., Lopes De Faria, M., Zazá, M., Fagundes, M., Oyama, K., Méndez, M., Aguilar, J., Hernández, R. y Cuevas, P. (2023). Changes in land use of temperate forest associated to avocado production in Mexico: Impacts on soil properties, plant traits and insect-plant interactions. *Agricultural Systems*, 204, 1-15. DOI: 10.1016/j.agsy.2022.103556.
- Ponge, J., Péres, G., Guernion, M., Ruiz-Camacho, N., Cortet, J., Pernin, C., Villenave, C., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Bispo, A. y Cluzeau, D. (2013). The impact of agricultural practices on soil biota: A regional study. *Soil Biology & Biochemistry*, 67, 1-14. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.08.026

- Postma, M., de Goede, R., Bloem, J., Faber, J. y Brussaard, L. (2010). Soil biota community structure and abundance under agricultural intensification and extensification. *Ecology*, 91(2), 460-473.
- Ramírez-Flores, M., Pérez-Limón, S. y Sawers, R. (2020). Impacto de los hongos micorrízicos arbusculares nativos en el rendimiento del maíz. Laboratorio Nacional de Genómica para la biodiversidad (LANGEBIO), Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). 1.10.
- Ramos- Agüero, D. y Terry-Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 2-9.
- Restrepo-Díaz, H., Ligarreto-Moreno, G. y Sánchez-Reinoso, A. (2017). Manejo de la nutrición en el cultivo del maíz. Universidad Nacional de Colombia.
- R Core Team. (2022). Rstudio Desktop. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>. Consultado el 25 de noviembre de 2022.
- Rojas, C., Bocanegra, J. y Mariño de Posada, J. (2014). Biodiversidad y servicios ecosistémicos en la gestión del suelo-subsuelo. *Opera*, 14, 1-10.
- Sánchez, S., Hernández, M. y Ruz, F. (2011). Alternativas de manejo de la fertilidad del suelo en ecosistemas agropecuarios. *Pastos y forrajes*, 34(4), 1-18.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2016). Michoacán: el productor número uno de berries en el país.

<https://www.gob.mx/agricultura%7Cmichoacan/articulos/michoacan-el-productor-numero-uno-en-berries-en-el-pais-sagarpa-michoacan>. Consultado el 21 de febrero de 2023.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2018). Agricultura, principal actividad del sector en el estado: Sagarpa Michoacán. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/es/articulos/agricultura-principal-actividad-del-sector-en-el-estado-sagarpa-michoacan>. Consultado el 12 de septiembre de 2022.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). ¿Qué es y para qué sirve el fertilizante? <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-es-y-para-que-sirve-el-fertilizante#:~:text=El%20uso%20de%20fertilizantes%20permite,desarrollo%20de%20los%20cultivos%20agr%C3%ADcolas>. Consultado el 25 de julio de 2023.

Secretaría de agricultura y desarrollo rural (SADER). (2019). Programa de concurrencia con las entidades federativas, compendio de indicadores 2018: Michoacán de Ocampo. 6-20. <https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2020/03/20/1922/21032020-pcef-compendio-2018-mich-final.pdf>. Consultado el 12 de septiembre de 2022.

Secretaría de agricultura y desarrollo rural (SADER) (2017). Frutas del bosque, arándano, frambuesa y zarzamora mexicanas. Planeación agrícola nacional 2017-2030, 1-28.

Secretaría de agricultura y desarrollo rural (SADER). (2021). Aumentó exportación de frutillas mexicanas a 38 naciones y se ubican como el principal producto

- agroalimentario de exportación. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumento-8-78-exportacion-de-frutillas-mexicanas-a-38-naciones-y-se-ubican-como-el-principal-producto-agroalimentario-de-exportacion>. Consultado el 12 de mayo de 2023.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). Suelos. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf. Consultado el 22 de junio de 2023.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2021). Aguacate michoacano, oro verde para los pequeños productores. <https://www.gob.mx/senasica/articulos/aguacate-michoacano-oro-verde-para-los-pequenos-productores>. Consultado el 11 de septiembre de 2022.
- Shennan, C., Krupnik, T., Baird, G., Cohen, H., Forbush, K., Lovell, R. y Olimpi, E. (2017). Organic and Conventional Agriculture: A Useful Framing? *Annual Review of Environment and Resources*, 42, 1-17. DOI: 10.1146/annurev-environ-110615-085750.
- Swinton, S., Lupi, F., Robertson G. y Hamilton, S. (2007). Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological economics* 64, 1-8. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.09.020
- Temitope, E., Olasekan, A. y Abodunde, K. (2020). Impact of agricultural practices on soil health en Giri, B. y Varma, A (Eds), *Soil health*, 89-98. Springer.

- Tiwari, P., Kumar, S. y Bae, H. (2021). Plant Growth-Promoting Soil Microbiomes: Beneficial Attributes and Potential Applications. En *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture*, Nath Yadav, A (Ed), 23-50.
- Towhid, K. (2013). *Soils: principles, properties and management*. Springer. DOI: 10.1007/978-94-007-5663-2
- Undarraga, P. y Vargas, S. (2013). *Manual de arándano*. Centro Regional de Investigación Quilamapu. 1-20.
- Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia forestal*, 16(1), 83-90.
- Wanjiru, L., Acosta, V., DeBruyn, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F. y Eash, N. (2015). Long term tillage, cover crop and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*, 89, 24-34. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.06.016
- Wright, E., Pérez, B., Fernández, R., Ascitutto, K., Rivera, M., Murillo, F., Vasquez, P., Divo de Sesar, M., Pérez, A., Aguilar-Heredía, L., Rosato, M., Crelier, A. y Baldomá, J. (2015). *Conocimiento actual sobre enfermedades de arándano*. Facultad de agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina.
- Zambrano, J., Cartagena, Y., Carrillo, M., Sangoquiza, C., Durango, W., Parra, R. y Campaña, D. (2021). *Deficiencias nutricionales en maíz*. Instituto nacional de investigaciones agropecuarias, Ecuador. 1-4.

Zamora, E. (2016). Algunas deficiencias nutricionales en cultivos protegidos. Universidad de Sonora, departamento de agricultura y ganadería, 1-9.

Zhang, W., Ricketts, T., Kremen, C., Carney, C. y Swinton, S. (2007). Ecosystem services and di-services to agriculture. *Ecological economics*, 64, 1-8. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007