



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Programa de Maestría en Producción Agropecuaria

**“Aislamiento y evaluación de bacterias promotoras de
crecimiento vegetal de diferentes ambientes”**

Tesis que como requisito para obtener el grado de:
**MAESTRA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA CON OPCIÓN
TERMINAL AGRÍCOLA**

Presenta: QFB Adilene Velázquez Medina

Director de tesis: Dr. Luis López Pérez

Codirección: Dra. Evangelina Quiñones Aguilar (CIATEJ)

Mayo del 2024

Morelia Michoacán



P
M
P
A



El presente documento de tesis de maestría forma parte de los proyectos:

“Uso de bioefectores en el crecimiento y desarrollo de especies vegetales de interés agrícola del estado de Michoacán”

Financiado por El programa de Investigación de la Coordinación de la investigación Científica (CIC), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Períodos. 2022, 2023 y 2024.

Líder del proyecto: Dr. Luis López Pérez.

FCCHTI23_ME-4.1.-0011. “Mantenimiento de equipo de laboratorio del Cuerpo Académico consolidado 069-Ecofisiología vegetal, para investigación y docencia”.

Financiado por el programa de Mantenimiento de equipo científico y/o tecnológico (2023), del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI), del estado de Michoacán.

Período. 2023-2024.

Líder del proyecto: Dr. Luis López Pérez

“Actinobacterias en el control biológico de enfermedades de plantas de interés agrícola”

Financiado por distintos proyectos del Laboratorio de Fitopatología del CIATEJ.

Líder del proyecto: Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar.

La investigación se desarrolló en los laboratorios e invernadero del cuerpo académico 069 “Ecofisiología Vegetal” del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y con apoyo del Laboratorio e Invernadero de Fitopatología de la Unidad de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ) bajo la dirección del Dr. Luis López Pérez y la codirección de la Dra. Evangelina Esmeralda Quiñones Aguilar, así como por la asesoría del Dr. Gabriel Rincón Enríquez, Dra. Nuria Gómez Dorantes y de la Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez.

De los resultados de esta tesis presentados en congresos, articulo de divulgación y talleres de divulgación de la ciencia

Trabajos presentados en congresos:

XVIII Coloquio Internacional Multidisciplinario de Divulgación Científica 2023. **Diferencias de lixiviados de vermicompostas con residuos de aguacate de parcelas orgánicos y convencionales.** Adilene Velázquez-Medina, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, & Luis López-Pérez (Anexo XI.2.)

18 congreso Estatal de Ciencia y Tecnología e Innovación y 12 Encuentro de Jóvenes Investigadores del estado de Michoacán. **Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados en semillas de frijol, jitomate, trigo y maíz.** Adilene Velázquez-Medina, Evangelina Esmeralda Quiñones- Aguilar, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez & Luis López-Pérez (Anexo XI.2).

Articulo de divulgación

Revista temas de ciencia y tecnología de la Universidad Tecnológica Mixteca. **Los microorganismos del suelo y su relación con las plantas.** Adilene Velázquez-Medina, Evangelina Esmeralda Quiñones- Aguilar, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez & Luis López-Pérez (Anexo XI.3).

Talleres de divulgación de la ciencia:

17 Congreso Estatal De Ciencia Tecnología E Innovación y 11 Encuentro De Jóvenes Investigadores Del Estado De Michoacán. **Biotransformación de residuos orgánicos domésticos en organofertilizantes para plantas de jardín y producción casera de hortalizas en hidroponía.** Adilene Velázquez-Medina, Silvia León Pérez, Anahí García Valdez, Evangelina Esmeralda Quiñones- Aguilar, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez & Luis López-Pérez (Anexo XI.4).

17 Congreso Estatal De Ciencia Tecnología E Innovación y 11 Encuentro De Jóvenes Investigadores Del Estado De Michoacán. **Producción casera de Hortalizas en Hidroponía.** Adilene Velázquez-Medina, Silvia León Pérez, Anahí García Valdez, Raúl Cárdenas Navarro, Luis López Pérez (Anexo XI.4).

Diplomado Estrategias Sostenibles Para La Agricultura y Los Bosques. **Preparación y elaboración de vermicompostas.** Adilene Velázquez Medina (Anexo XI.4).

Divulgadora de la ciencia en aniversario de la Preparatoria Issac Arriaga de la UMSNH. **Taller de Aislamiento de bacterias promotoras de crecimiento vegetal.** Adilene Velázquez Medina (Anexo XI.4).

18 congreso Estatal de Ciencia y Tecnología e Innovación y 12 Encuentro de Jóvenes Investigadores del estado de Michoacán. **Bacterias aisladas de diferentes ambientes con actividad antagónica contra *Colletotrichum gloeosporioides* y *Phytophthora cinnanomi*, fitopatógenos que atacan aguacate.** Adilene Velazquez Medina (Anexo XI.4).

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia

A mis padres **Mauricio Velázquez Tapia** y **María de los Ángeles Medina Pérez** por darme el ejemplo a nunca rendirme y darme la motivación en ser una mejor persona y profesionalista cada día. Por su apoyo incondicional y el amor que me brindan.

A mi hermano **Neri Velázquez Medina** por aconsejarme en entrar al Instituto de investigaciones agropecuarias y forestales. Al igual que a mis sobrinos **Leonel Velázquez Nava** e **Issac Kalel Velázquez Nava** y cuñada **Jocabed Nava Magaña** por el cariño.

A mi tío **Santiago Medina Pérez** por los consejos que me brinda, el apoyo que me otorga para trabajar en el campo, ya que gracias a él tuve la iniciativa en adentrarme en el área agrícola.

A mi novio **Yazid Ivan Zirate Ramírez** por sus palabras de aliento en momentos difíciles

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida y acompañarme en todo momento a lo largo de mi camino académico, por ser mi luz y darme la sabiduría, así como la fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A la **Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo**, en especial al **Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales** junto con el **Programa de Maestría en Producción Agropecuaria**.

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al **Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ)** por brindarme material para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A mi director de tesis, **Dr. Luis López Pérez**, por darme la confianza y aceptarme en su equipo de investigación, por brindarme su valioso tiempo y dedicación para mejorar mi formación, por siempre escucharme y darme consejos. Y por compartir sus conocimientos para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A mi coasesora, **Dra. Evangelina E. Quiñones Aguilar** por dedicarme su tiempo para compartir conocimientos y técnicas en temas de microbiología de suelos. También por otorgarme material para llevar a cabo la investigación.

A mi asesora **Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez**, por brindarme tiempo y sus conocimientos, ya que, gracias a ella, entendí la importancia de las lombrices rojas californianas y me dio herramientas y el lugar para elaborar las vermicompostas. Lo cual, me inspiró para seguir con la producción de lixiviados y vermicompost.

A mi asesora **Dra. Nuria Gómez Dorantes**, por brindarme su tiempo y consejos. Gracias a ella conocí temas que yo desconocía sobre fitopatología. Así como tener la paciencia y confianza en prestarme su microscopio para poder observar las bacterias aisladas.

A mi asesor **Dr. Gabriel Enríquez Rincón** por hacer que le entendiera mejor a la estadística, gracias por brindarme el tiempo y paciencia para las dudas sobre cómo manejar los datos

obtenía en cada experimento. También por otorgarme material para realizar el trabajo de investigación.

A la Dra. **Liliana Márquez Benavides** por la confianza en prestarme su laboratorio para realizar la investigación. También por las tutorías que me otorgó.

Al **Dr. Alfredo Reyes Tena** por compartir sus conocimientos en las clases que me impartió. También por los consejos y dedicar su tiempo en revisiones de mis trabajos.

A mis compañeros del laboratorio de ecofisiología vegetal del IIAF: **Anahí García Valdez, Gabriel Avilés, Silvia Lean Pérez, Ana Mariela Horta, Brenda Paola Magaña, Ana Aurora Melo, Yamileth, Rodrigo Cervantes, Itzel Ferreyra, Lucia, Elisa, Lizbeth y amigos**. Ya que todos me brindaron su apoyo en actividades y experimentos que se llevaron a cabo durante la investigación

Índice de Contenido

Índice de Cuadros	xi
Índice de Figuras.	xiv
Resumen general	1
Abstract	3
I. Introducción	4
II. Justificación general	6
III. Objetivo general	7
IV. Objetivos específicos	7
V. Hipótesis	8
VI. Antecedentes	9
Capítulo 6.1. Los microorganismos del suelo y su relación eterna con las plantas	9
Soil microorganisms and their eternal relationship with plants.....	9
6.1.1. Resumen	9
6.1.2. Abstract	9
6.1.3. Introducción	10
6.1.4. Colonización endosimbiótica y exosimbiótica.....	12
6.1.5. Mecanismos de acción de los microorganismos en la promoción y crecimiento vegetal	15
6.1.6. Fijación de nitrógeno atmosférico.....	16
6.1.7. Solubilización de fosfatos	18
6.1.8. Producción de sideróforos.....	19
6.1.9. Producción de fitohormonas.....	20
6.1.10. Enemigos de microorganismos perjudiciales para las plantas	22
6.1.11. Conclusión.....	24
6.1.12. Bibliografía.....	24
VII. Resultados	28

Capítulo 7.1. Diversidad bacteriana y fitotoxicidad de vermicompostas obtenidas de residuos de aguacate con distinto manejo agronómico y estiércol bovino	28
7.1.1. Resumen	28
7.1.2. Abstract	29
7.1.3. Introducción	30
7.1.4. Materiales y métodos	31
7.1.4.1. Elaboración de vermicompostas.....	31
7.1.4.2. Aislamiento de bacterias del intestino, piel de <i>E. foetida</i> , lixiviado y vermicompost	35
7.1.4.3. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de las vermicompostas.....	36
7.1.4.4. Variables físico químicas evaluadas en lixiviados.....	38
7.1.4.5. Análisis estadístico.....	38
7.1.5. Resultados y discusión.....	38
7.1.5.1. Aislamiento de bacterias del intestino, piel de <i>E. foetida</i> , lixiviado y vermicompost	38
7.1.5.2. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de las vermicompostas.....	56
7.1.5.3. Variables físico químicas evaluadas en lixiviados.....	61
7.1.6. Conclusiones	63
7.1.7. Literatura citada	63
Capítulo 7.2. Diversidad de bacterias en suelos cultivados con aguacate (<i>Persea americana</i>), con manejo diferente manejo agronómico	66
7.2.1. Resumen	66
7.2.2. Abstract	67
7.2.3. Introducción	67
7.2.4. Materiales y métodos	69
7.2.4.1. Áreas de estudio	69
7.2.4.2. Muestreo de suelo.....	69
7.2.4.3. Aislamiento de bacterias	71
7.2.4.4. Descripción de morfología macroscópica y microscópica de los aislados bacterianos.....	72
7.2.4.5. Determinación del índice de diversidad de los aislados bacterianos	72
7.2.4.6. Análisis estadístico.....	72

7.2.5. Resultados y discusión	73
7.2.5.1. Aislamiento de bacterias	73
7.2.5.2. Descripción de morfología macroscópica y microscópica de los aislados bacterianos.....	74
7.2.5.3. Determinación del índice de diversidad de los aislados bacterianos	88
7.2.6. Conclusiones	90
7.2.7. Literatura citada.....	91
Capítulo 7.3. Evaluación del potencial biológico de promoción del crecimiento vegetal de bacterias aisladas de distintos ambientes.....	94
7.3.1. Resumen	94
7.3.2. Abstract	94
7.3.3. Introducción	95
7.3.4. Materiales y métodos	98
7.3.4.1. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA).....	98
7.3.4.2. Evaluación de los ABDA en <i>Solanum lycopersicum</i>	100
7.3.4.3. Evaluación de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en <i>S. lycopersicum</i>	104
7.3.4.4. Análisis estadístico.....	105
7.3.5. Resultados y discusión	106
7.3.5.1. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA).....	106
7.3.5.2. Evaluación de los ABDA en <i>Solanum lycopersicum</i>	118
7.3.5.3. Evaluación de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración de <i>S. lycopersicum</i>	129
7.3.6. Conclusiones	132
7.3.7. Literatura citada.....	133
Capítulo 7.4. Actividad antagónica <i>in vitro</i> de aislados bacterianos de distintos ambientes contra <i>Fusarium</i> sp	137
7.4.1. Resumen	137
7.4.2. Abstract	137
7.4.3. Introducción	138
7.4.4. Materiales y métodos	140
7.4.4.1. Obtención de aislados bacterianos	140

7.4.4.2. Diseño de tratamientos.....	140
7.4.4.3. Medición de actividad antagónica.....	143
7.4.4.4. Análisis estadístico.....	144
7.4.5. Resultados y discusión.....	145
7.4.5.1. Medición de actividad antagónica.....	145
7.4.6. Conclusiones.....	155
7.4.7. Literatura citada.....	155
VIII. Discusión general.....	159
IX. Conclusiones generales.....	162
X. Literatura complementaria.....	163
XI. Anexos.....	166
XI.1. Análisis fisicoquímicos de los suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico.....	166
XI.2. Participaciones en congresos.....	170
XI.3. Publicación de artículo de divulgación.....	175
XI.4. Participaciones en talleres de divulgación de la ciencia.....	176

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Iniciadores de hormonas vegetales y funciones en la planta.	21
Cuadro 2. Diseño experimental de la Elaboración de las vermicompostas con residuos vegetales de diferente manejo agronómico.	33
Cuadro 3. Diseño experimental para la evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de vermicompostas en distintos modelos experimentales.	37
Cuadro 4. Aislados encontrados en las vermicompostas con residuos de aguacate de diferente manejo más estiércol bovino	39
Cuadro 5. Morfologías macroscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo convencional más estiércol bovino	40
Cuadro 6. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo convencional más estiércol bovino	43
Cuadro 7. Morfologías macroscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo orgánico más estiércol bovino	45
Cuadro 8. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo orgánico más estiércol bovino	48
Cuadro 9. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de las vermicompostas con residuos de diferente manejo agronómico.	53
Cuadro 10. Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados de aguacate orgánico y convencional en semillas de frijol, jitomate	57
Cuadro 10.1. Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados de aguacate orgánico y convencional en semillas de trigo y maíz.	58
Cuadro 11. Mediciones de pH y conductividad eléctrica de los vermicompost y lixiviados	59
Cuadro 12. Mediciones de NO ₃ ⁻ de los lixiviados de vermicompostas de residuos de <i>Persea americana</i> de parcelas convencionales y orgánicas con estiércol bovino de 3 y 10 semanas de elaboración.....	61

Cuadro 13. Propiedades fisicoquímicas de los suelos de parcelas de <i>P. americana</i> convencional y orgánicas.....	70
Cuadro 14. Aislados encontrados en la rizosfera de árboles sanos y enfermos de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico.....	74
Cuadro 15. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo convencional.	77
Cuadro 16. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo orgánico.	79
Cuadro 17. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo convencional.	81
Cuadro 18. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo orgánico.....	82
Cuadro 19. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de los suelos rizosféricos de aguacate de diferente manejo agronómico.	86
Cuadro 20. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de los suelos rizosféricos de árboles sanos y enfermos de aguacate de diferente manejo agronómico.	87
Cuadro 21. Diseño experimental para evaluar los aislados bacterianos de diferentes ambientes en <i>S. lycopersicum</i>	101
Cuadro 22. Diseño experimental para evaluar los aislados de suelo de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico	105
Cuadro 23. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico.	110
Cuadro 24. Efectividad biológica de los aislados bacterianos de diferentes ambientes en la promoción del crecimiento vegetal de plantas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) en condiciones de invernadero.	120

Cuadro 25. Evaluación en la promoción del crecimiento vegetal de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración de <i>S. lycopersicum</i>	131
Cuadro 26. Diseño experimental para evaluar la actividad antagónica de los ABDA contra <i>Fusarium</i> sp.	141
Cuadro 27. Medición de la actividad antagónica de los aislados de diferentes ambientes contra <i>Fusarium</i> sp.	147
Cuadro 28. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela convencional “El Zapote”.	166
Cuadro 29. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela convencional “La Tira”.	166
Cuadro 30. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela orgánica “La Escondida”.	168
Cuadro 31. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela orgánica “San Antonio”.	169

Índice de Figuras.

Figura 1. Zona de la rizosfera de una planta en pleno crecimiento.....	11
Figura 2. Morfología macroscópica de microorganismos aislados de suelos. A. Bacterias; B. Actinobacteria; C. Levaduras y D. Hongo filamentoso.....	13
Figura 3. Morfología microscópica de microorganismos aislados de suelos.....	14
Figura 4. Microorganismos endosimbiontes y exosimbiontes	15
Figura 5. Microorganismos que intervienen en los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza	16
Figura 6. Tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno	17
Figura 7. Formas del fósforo en el suelo.	19
Figura 8. Función de los sideróforos en la adquisición de hierro para las plantas	20
Figura 9. Mecanismos de biocontrol	24
VII. Resultados	28
Figura 10. Residuos vegetales y estiércol añadidos a las vermicompostas	32
Figura 11. Caja de plástico utilizada para las vermicompostas.....	33
Figura 12. Camas de vermicompostas con recolección de lixiviado utilizados como unidades experimentales para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de investigación.	34
Figura 13. Aspecto general de fertilizante biológico obtenido a partir de lombrices.....	35
Figura 14. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de lixiviado, intestino, piel y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico más estiércol bovino.....	51
Figura 15. Morfología microscópica de un aislado bacteriano de lixiviado, intestino, piel y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico más estiércol bovino	52
Figura 16. Índice de diversidad bacteriana en lixiviados, piel, intestino y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate de diferente manejo agronomico	55
Figura. 17. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de residuos de aguacate orgánico y convencional en frijol (A), jitomate (B), Trigo (C) y maíz (D).....	60

Figura 18. Colores de los lixiviados colectados a las tres y diez semanas de elaboración de las vermicompostas	62
Figura 19. Árboles sanos y enfermos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico	70
Figura 20. Aspecto de las morfologías macroscópicas de aislados de árboles sanos y enfermos de la rizosfera de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico	84
Figura 21. Aspecto general de las morfologías microscópicas de aislados de árboles sanos y enfermos de la rizosfera de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico	85
Figura 22. Índice de diversidad bacteriana de parcelas de <i>Persea americana</i> con manejo convencional y orgánico	88
Figura 23. Índice de diversidad bacteriana de suelo rizosférico de árboles sanos y enfermos de <i>Persea americana</i> con manejo convencional y orgánico	90
Figura 24. Efectividad biológica de los aislados bacterianos de diferentes ambientes en la promoción del crecimiento vegetal de plantas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) en el invernadero	127
Figura 25. Evaluación de los aislados bacterianos de diferentes ambientes con la actividad antagónica in vitro	144
Figura 26. Actividad antagónica de bacterias aisladas de diferentes ambientes contra <i>Fusarium</i> sp. en condiciones in vitro	153

Resumen general

En los ambientes de suelos agrícolas, existe una gran variedad de bacterias y se ha demostrado que algunas especies tienen un efecto promotor de crecimiento vegetal debido a diferentes mecanismos de acción, como la producción de sustancias con actividad hormonal, solubilización de minerales, entre otras y también presentan actividad antagónica contra fitopatógenos. Estas bacterias varían en diversidad y cantidad dependiendo de muchas condiciones entre las cuales las prácticas agrícolas son una de las más importantes. En la agricultura convencional, se emplean agroquímicos para subsanar deficiencias nutricionales del suelo, control de plagas y enfermedades; lo que ocasiona un impacto negativo sobre las poblaciones de bacterias en el suelo. Por su parte, en la agricultura orgánica, se emplean enmiendas naturales (compost, lixiviados y vermicompost de lombriz, abonos a base de estiércoles etc.), para el aporte nutricional del suelo y enmiendas biológicas (microorganismos antagónicos, bacteriófagos, activos de microorganismos), para el control de plagas y enfermedades; lo que ocasiona un relativo bajo impacto sobre la diversidad de bacterias del suelo; además estas enmiendas impactan en las propiedades físicas del suelo y son una importante fuente de nutrientes (principalmente carbono), para los demás microorganismos del suelo. Por otro lado, una práctica agrícola recurrente, en diversos cultivos es la poda, generando gran cantidad de residuos (ramas, hojas y algunos frutos), los cuales generalmente se queman provocando contaminación. Una alternativa para estos residuos es la elaboración de vermicompostas para la obtención de lixiviados y vermicompost ricos en nutrientes y diversidad bacteriana benéfica para los cultivos. Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo general aislar, identificar y evaluar bacterias de diferentes ambientes, con capacidad de promoción de crecimiento vegetal y antagonismo contra *Fusarium* sp. Para lo cual se tomaron muestras de suelos rizosféricos de árboles sanos y enfermos (ASYE) de parcelas de aguacate con manejo convencional (MAC) y orgánico (MAO), así como de vermicompostas elaborada con residuos de aguacate de MAC y MAO y estiércol bovino. También se aislaron bacterias de los lixiviados y lombriz utilizada en las diferentes vermicompostas. De estos ambientes, se realizó el aislamiento y caracterización de las bacterias presentes y después se realizó un análisis de diversidad. A las bacterias

aisladas, se les realizaron pruebas de solubilización de fosfato (SF), calcio (SC) y fijación biológica de nitrógeno (FBN), *in vitro* y después se corroboró su efectividad biológica de promoción del crecimiento vegetal en plántulas de jitomate. Finalmente, se les realizaron a cada uno de los aislados pruebas de actividad antagónica *in vitro* contra *Fusarium* sp. Como resultados se obtuvieron 108 aislados ABDA; 15 de SASYE de parcelas de aguacate con MAC, 20 de SASYE de parcelas de aguacate con MAO, cinco de lixiviado, nueve de intestino, 12 de piel de *E. foetida* y 10 de vermicompost de residuos de aguacate convencional (VRAC), también se encontraron cinco del lixiviado, ocho de intestino, diez de piel de *E. foetida* y 14 del vermicompost de residuos de aguacate orgánico (VRAO). Se encontró un mayor índice de diversidad de Shannon en ambientes orgánicos como suelos de MAO y en el vermicompost de la VRAO, mientras en suelos de MAC, MAO, VRAC y VRAO: se encontraron 12 bacterias que SF, 18 SC, donde la mayor parte de bacterias fue de ambientes orgánicos. En la FBN, 17 aislados de VRAC y VRAO superaron los 120 ppm de nitratos (NO_3^-), mientras los aislados de suelos de MAC y MAO tuvieron valores inferiores a 100 ppm de NO_3^- . En la evaluación de la efectividad biológica de los aislados en jitomate las bacterias con origen del vermicompost de VRAC y VRAO aumentaron las variables agronómicas de fenología y biomasa. Mientras en la evaluación de la inoculación en consorcio de los mejores aislados de MAC y MAO incrementaron el porcentaje de germinación de las semillas de jitomate y el promedio de flores a los 40 días después de la siembra. En la actividad antagónica solo tres aislados de SASYE de parcelas de aguacate de MAC y dos aislados en los suelos de MAO, presentaron efecto antagónico; pero la mayor cantidad de bacterias con actividad antagónica se encontró en los aislados de piel de *E. foetida* y vermicompost de las VRAC y VRAO. Lo anterior indicó que en los ambientes de suelos de MAO y vermicompostas existió mayor diversidad bacteriana promotora de crecimiento vegetal y con actividad antagónica.

Palabras clave: manejo agronómico, potencial biológico, suelo rizosférico, vermicompostas, promoción de crecimiento vegetal, antagonismo.

Abstract

In agricultural soil environments, there is a great variety of bacteria that have been shown to have a plant growth promoting effect due to different mechanisms of action, such as the production of substances with hormonal activity, solubilization of minerals, among others, and also antagonistic activity against phytopathogens. These bacteria vary in diversity and quantity depending on many conditions, among which agricultural practices are one of the most important. In conventional agriculture, agrochemicals are used to remedy nutritional deficiencies in the soil and to control pests and diseases, which has a negative impact on the bacterial populations in the soil. On the other hand, in organic agriculture, natural amendments are used (compost, leachates and vermicompost from earthworms, manure-based fertilizers, etc.), for the nutritional contribution of the soil.), for the nutritional contribution of the soil and biological amendments (antagonistic microorganisms, bacteriographs, active microorganisms), for the control of pests and diseases; which causes a relatively low impact on the diversity of soil bacteria; in addition these amendments have an impact on the physical properties of the soil and are an important source of nutrients (mainly carbon), for the other soil microorganisms. On the other hand, a recurrent agricultural practice in diverse crops is pruning, generating a large amount of residues (branches, leaves and some fruits), which are generally burned, generating contamination. An alternative for these residues is the elaboration of vermicomposts to obtain leachates and vermicompost rich in nutrients and beneficial bacterial diversity for crops. Therefore, the general objective of this research was to isolate, identify and evaluate bacteria from different environments, with the capacity to promote plant growth and antagonism against *Fusarium* sp. For this purpose, samples were taken from rhizosphere soils of healthy and diseased trees (HADT) from avocado plots with conventional (APC) and organic (APO) management, as well as from vermicomposts made with avocado residues from APC and APO and bovine manure. Bacteria were also isolated from the leachates and worm castings used in the different vermicomposts. From these environments, the bacteria present were isolated and characterized, and then a diversity analysis was performed. The isolated bacteria were tested for phosphate solubilization (PS), calcium (CS) and biological nitrogen fixation (BNF),

in vitro, and then their biological effectiveness in promoting plant growth in tomato seedlings was corroborated. Finally, each of the isolates was tested for in vitro antagonistic activity against *Fusarium* sp. As results, 108 isolates were obtained; 15 of HADT from avocado plots with APC, 20 of HADT from avocado plots with APO, five from leachate, nine from intestine, 12 from skin of *E. foetida* and 10 from vermicompost, and 10 from vermicompost. *E. foetida* and 10 from conventional avocado residue (CAR) vermicompost, five from leachate, eight from gut, ten from *E. foetida* skin and 14 from organic avocado residue (OAR) vermicompost. A higher Shannon diversity index was found in organic environments such as APO soils and in the OAR vermicompost, while in APC, APO, CAR and OAR soils. Twelve bacteria were found than PS, 18 CS, where most of the bacteria were from organic environments. In the BNF, 17 isolates from CAR and OAR exceeded 120 ppm nitrate (NO_3^-), while isolates from APC and APO soils had values below 100 ppm NO_3^- . In the evaluation of the biological effectiveness of the isolates on tomato, the bacteria from CAR and OAR vermicompost increased the agronomic variables of phenology and biomass. In the evaluation of the consortium inoculation, the best isolates of APC and APO increased the percentage of tomato seed germination and the average number of flowers 40 days after sowing. In the antagonistic activity, only three isolates of HADT from APC avocado plots and two isolates from APO soils showed antagonistic effect; but the greatest amount of bacteria with antagonistic activity was found in the isolates of *E. foetida* skin and vermicompost from CAR and OAR. This indicated that in the APO and vermicompost soil environments there was a greater diversity of plant growth-promoting bacteria with antagonistic activity.

Key words: agronomic management, biological potential, rhizospheric soil, vermicompost, plant growth promotion, antagonism.

I. Introducción

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV), presentan mecanismos directos como la solubilización de fosfato, calcio, fijación de nitrógeno y producción de fitohormonas; por otro lado, las bacterias también realizan mecanismos indirectos como el biocontrol de fitopatógenos, producción de enzimas líticas, sideróforos, antibióticos e inducen a la

resistencia sistémica, así como a disminuir el estrés en las plantas de ambientes abióticos (Hakim *et al.*, 2021). Estas BPCV, se encuentran en los ambientes de los suelos de cultivos agrícolas, en la parte de la rizosfera que es la zona del suelo que; está en contacto directo con las raíces y resulta ser el punto de acceso de microorganismos como las bacterias. En esa zona, las raíces exudan o secretan sustancias como carbohidratos, metabolitos secundarios, ácidos orgánicos y aminoácidos. Estas secreciones son el alimento de la población bacteriana, la cual, realiza ciclos de nutrientes y protegen a las plantas de fitopatógenos. La diversidad bacteriana es importante en la rizosfera ya que provoca cambios en la composición, calidad y cantidad de exudados radiculares de la planta (Philippot *et al.*, 2013). Existen investigaciones como la de Schmind *et al.* (2018), donde analizaron la diversidad bacteriana en la rizosfera de ocho especies, entre ellas frijol (*Phaseolus vulgaris*), que por once años fueron monocultivos. Ellos dedujeron que la estructura de la comunidad bacteriana de la rizosfera de las plantas estuvo determinada por el monocultivo y por la identidad de las especies vegetales.

En la agricultura existen el manejo agronómico convencional (MAC), que consiste en la aplicación continua de agroquímicos para mantener sanos y productivos los cultivos, pero con el uso excesivo de estos productos disminuyen la diversidad bacteriana en la rizosfera; mientras el manejo agronómico orgánico (MAO), aplica sustratos orgánicos como el compost, vermicompost, lixiviados y productos comerciales a base de microorganismos promotores de crecimiento vegetal, los cuales aumentan la diversidad bacteriana en la rizosfera (Beltrán-Morales *et al.*, 2016; Ghiglione *et al.*, 2021).

Otros ambientes donde también se encuentran BPCV, es en el vermicompost que es el producto del vermicompostaje con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), que acelera el proceso de degradación de los residuos vegetales y estiércoles de animales de ganado. Cabe mencionar que el resultado del vermicomposteo es el vermicompost, que es rico en nutrientes como fósforo, calcio, nitrógeno; que se encuentran disponibles y en formas accesibles para las plantas debido a mecanismos realizados por las BPCV (Jangra *et al.*, 2019). Yattoo *et al.* (2016), encontraron bacterias solubilizadoras de fosfato y fijadoras de nitrógeno en el vermicompost, el cual es óptimo para evitar la pérdida de productividad de suelos por ser buen retenedor de agua, contener BPCV productoras de fitohormonas como

auxinas, giberelinas, citoquinas e inhibición de crecimiento de fitopatógenos (Rivindran *et al.*, 2016). En este trabajo se aborda como primer capítulo una revisión sobre los microorganismos del suelo y su relación con las plantas; como segundo capítulo se encuentra la diversidad bacteriana y fitotoxicidad de vermicompostas obtenidas de residuos de aguacate con distinto manejo agronómico y estiércol bovino; capítulo tres como diversidad de bacterias en suelos cultivados con aguacate (*Persea americana*), con manejo diferente manejo agronómico; capítulo cuatro evaluación del potencial biológico de promoción del crecimiento vegetal de bacterias aisladas de distintos ambientes y capítulo cinco como actividad antagónica *in vitro* de aislados bacterianos de distintos ambientes contra *Fusarium* sp.

II. Justificación general

En la actualidad, ante el cambio de paradigma que está sufriendo la producción agrícola mundial, donde ahora se buscan alternativas más sustentables de producción, el uso de biológicos en la producción se ha vuelto más recurrente. Entre los principales biológicos usados en la agricultura se encuentran las bacterias que promueven el crecimiento de especies vegetales y microorganismos antagónicos de patógenos. Diversos son los ambientes donde se pueden buscar estas bacterias y diversos serán sus mecanismos de acción que pueden ser útiles para los cultivos. De ahí que sea necesario realizar aislamiento y caracterización de potencial biológico de bacterias aisladas de distintos ambientes: se sabe que el mayor reservorio de diversidad bacteriana es el suelo y principalmente la rizosfera. Así mismo, toda actividad de manejo agronómico que se lleve a cabo en esta zona repercutirá en la diversidad bacteriana. Otra fuente importante de diversidad bacteriana son las vermicompostas y sus derivados; que, dependiendo del material y modo de preparación de esta, influirá en la diversidad bacteriana.

Por lo anterior, es importante conocer la diversidad de bacterias existentes en suelos con diferente manejo, así como de vermicompostas y sus derivados. En este trabajo se utilizó suelo rizosférico de árboles de aguacate sanos y enfermos de parcelas de aguacate con dos distintos tipos de manejo (orgánico y convencional), así como de vermicompostas elaboradas a partir de residuos de podas de aguacate igualmente con dos tipos de manejo. Se eligió el cultivo de aguacate (*Persea americana*), ya que es un cultivo rentable y de suma importancia

en Michoacán (Espejel- García et al., 2002) y genera gran cantidad de residuos vegetales derivados de las distintas podas que se le hacen a los árboles.

III. Objetivo general

Aislar, identificar y evaluar bacterias de diferentes ambientes, con capacidad de promoción de crecimiento vegetal y antagonismo contra *Fusarium* sp.-

IV. Objetivos específicos

- 1) Muestrear suelos rizosféricos de árboles sanos y enfermos (ASYE), de parcelas de aguacate con manejo agronómico convencional (MAC) y orgánico (MAO).
- 2) Elaborar vermicompostas de residuos de parcelas de aguacate con MAC y MAO más estiércol bovino
- 3) Aislar de bacterias de los diferentes ambientes (ABDA): suelos rizosféricos de ASYE de parcelas de aguacate con MAC, MAO; así como de los lixiviados, intestino, piel de *E. foetida* y vermicompostas.
- 4) Identificar la morfología macroscópica y microscópica de los ABDA
- 5) Analizar el índice de diversidad de Shannon de los ambientes.
- 6) Realizar pruebas *in vitro* de distintos mecanismos de promoción de crecimiento vegetal: solubilización de fosfato, calcio, actividad fosfatasa y fijación biológica de nitrógeno de los ABDA.
- 7) Evaluar la promoción de crecimiento vegetal de los ABDA, en plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum*), en condiciones de invernadero.
- 8) Evaluar la promoción de crecimiento vegetal de los mejores de suelos de parcelas convencionales y orgánicos de aguacate en la inoculación en jitomate (*Solanum lycopersicum*).
- 9) Evaluar de la capacidad antagónica *in vitro* de los ABDA contra *Fusarium* sp.

V. Hipótesis

Existirá una mayor diversidad de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y actividad antagónica en ambientes de suelos de cultivo de aguacate orgánico y en vermicompostas elaboradas con residuos de poda de árboles con manejo orgánico.

VI. Antecedentes

Capítulo 6.1. Los microorganismos del suelo y su relación eterna con las plantas

Soil microorganisms and their eternal relationship with plants

6.1.1. Resumen

En este trabajo, se presenta la relación natural que existe entre los microorganismos presentes en el suelo tales como las bacterias, actinobacterias, hongos de diversos tipos, entre muchos otros, y las raíces de las especies vegetales. Estos microorganismos tienen una relación íntima con las plantas, debido a que aprovechan las sustancias que las raíces excretan como aminoácidos y ácidos orgánicos para alimentarse, reproducirse y hacer de la raíz su hábitat. Por otro lado, los microorganismos le confieren a las raíces de las plantas diversos beneficios como, la estimulación en el crecimiento vegetal mediante distintas actividades o mecanismos como lo son la toma o fijación de nitrógeno atmosférico, producción de sustancias orgánicas que ayudan a la solubilización, movilidad y disponibilidad de minerales como nitratos, fósforo y calcio del suelo y producen fitohormonas que ayudan al desarrollo de las raíces. Los microorganismos también ayudan a las plantas en la protección frente a algunos patógenos mediante distintos mecanismos de acción como: la competencia por espacio y nutrientes, la producción de sustancias con propiedades antifúngicas y antibacteriales. De esta manera, se hace énfasis en la ventaja que le aporta a las plantas el asociarse con los microorganismos y que esta relación deberá ser eterna para el beneficio de ambas especies.

Palabras Clave: hábitat microbiológico, simbiosis, sinergismos, antagonismos, rizosfera.

6.1.2. Abstract

In this work, the natural relationship that exists between the microorganisms present in the soil such as bacteria, actinobacteria, fungi of various types, among many others, and the roots of plant species is presented. These microorganisms have an intimate relationship with plants,

because they take advantage of the substances that the roots excrete such as amino acids and organic acids to feed, reproduce, and make the roots their habitat. On the other hand, microorganisms give the roots of plants various benefits such as stimulation of plant growth through different activities or mechanisms such as the uptake or fixation of atmospheric nitrogen, production of organic substances that help solubilization, mobility and availability of minerals such as nitrates, phosphorus and calcium from the soil and produce phytohormones that help root development. Microorganisms also help plants protect against some pathogens through different mechanisms of action such as: competition for space and nutrients, production of substances with antifungal and antibacterial properties. In this way, emphasis is placed on the advantage that associating with microorganisms brings to plants and that this relationship must be eternal for the benefit of both species.

Key words: microbiological habitat, symbiosis, synergisms, antagonisms, rhizosphere.

6.1.3. Introducción

Es en la raíz de la planta donde se localiza la mayor diversidad y actividad biológica, convirtiéndose en el principal nicho ecológico para la mayoría de los microorganismos del suelo. La zona donde se da la relación planta–microorganismo se denomina rizosfera (Figura 1), que comprende desde la superficie de las raíces hasta 3 mm al interior del suelo. En esta región se lleva a cabo una maravillosa asociación entre al menos tres organismos de distintos reinos, como son las plantas (vegetal), los hongos (fungi) y las bacterias (monera).



Figura 1. Zona de la rizosfera de una planta en pleno crecimiento.

Fuente: elaboración propia.

Debido a que en esta zona existen asociaciones benéficas con microorganismos, las plantas pueden crecer, ser altamente productivas y resistentes a condiciones adversas en los ambientes donde se desarrollan. Las plantas, para su crecimiento saludable requieren de luz, agua y nutrientes del suelo, los cuales en gran medida son facilitados por la acción de los microorganismos mediante diversos mecanismos de acción como: la fijación de nitrógeno atmosférico, poner a disponibilidad el fósforo, calcio y potasio a las raíces. Así mismo, los microorganismos benefician a las plantas produciendo fitohormonas, estas generan en las plantas beneficios como aumentar el número de raíces y mejorar la absorción de nutrientes, incrementar el follaje, estimular la floración y fructificación. Otro beneficio que los microorganismos le aportan a las plantas es, la creación de enzimas y antibióticos que

promueven y estimulan los sistemas de defensa contra factores bióticos como el ataque de insectos plaga y microorganismos patógenos que perjudican la salud de la planta; y factores abióticos como el exceso o déficit hídrico, altas o bajas temperaturas y alta radiación solar.

Los microorganismos asociados a las plantas, requieren de compuestos indispensables para su crecimiento y desarrollo tales como aminoácidos (triptófano, arginina, cisteína, glutamina y asparagina), carbohidratos (glucosa, arabinosa, manosa, fructosa, maltosa, galactosa y ribosa), ácidos orgánicos (acético, ascórbico, benzoico y málico). Estos los obtienen de diferentes fuentes como residuos vegetales, animales, agua y minerales presentes en el suelo, pero principalmente son obtenidos de las sustancias excretadas por las raíces de las plantas. Por lo que, los microorganismos y las plantas se necesitan entre sí para poder vivir.

6.1.4. Colonización endosimbiótica y exosimbiótica

En los suelos de los cultivos, bosques y jardinerías se encuentra una gran diversidad de microorganismos como bacterias, actinobacterias, levaduras y hongos filamentosos (Figuras 2 y 3); algunos pueden ser nocivos para las plantas, pero muchos otros son benéficos. Los microorganismos hacen de las raíces de las plantas su nicho ecológico, cuando estos penetran al interior de la raíz y ahí se establecen, se conocen como endosimbiontes; por otro lado, los microorganismos que se establecen sobre la superficie de la raíz se les denominan exosimbiontes (Figura 4). Todo esto se puede lograr gracias a la estrecha relación que se da entre plantas y microorganismos. Pero a pesar de los beneficios que se dan en esta asociación, existen también microorganismos perjudiciales para las plantas, que les ocasionan daños e inclusive la muerte. Estos microorganismos patógenos están en constante lucha con los benéficos para colonizar las raíces y el éxito en el crecimiento de la planta dependerá de que organismo (patógeno o benéfico), se establezca primero en la raíz.

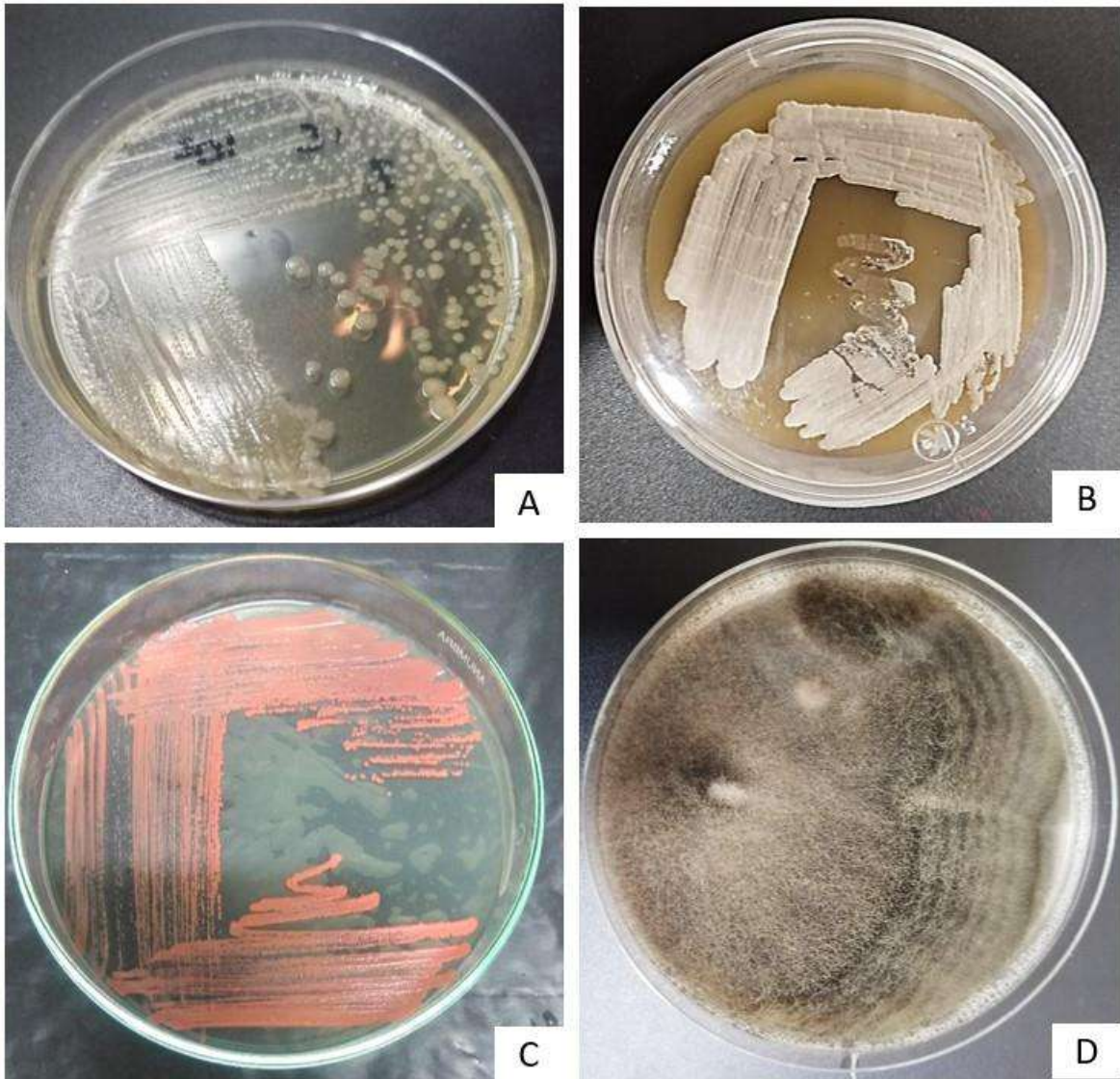


Figura 2. Morfología macroscópica de microorganismos aislados de suelos. A. Bacterias; B. Actinobacteria; C. Levaduras y D. Hongo filamentoso.
Fuente: elaboración propia.

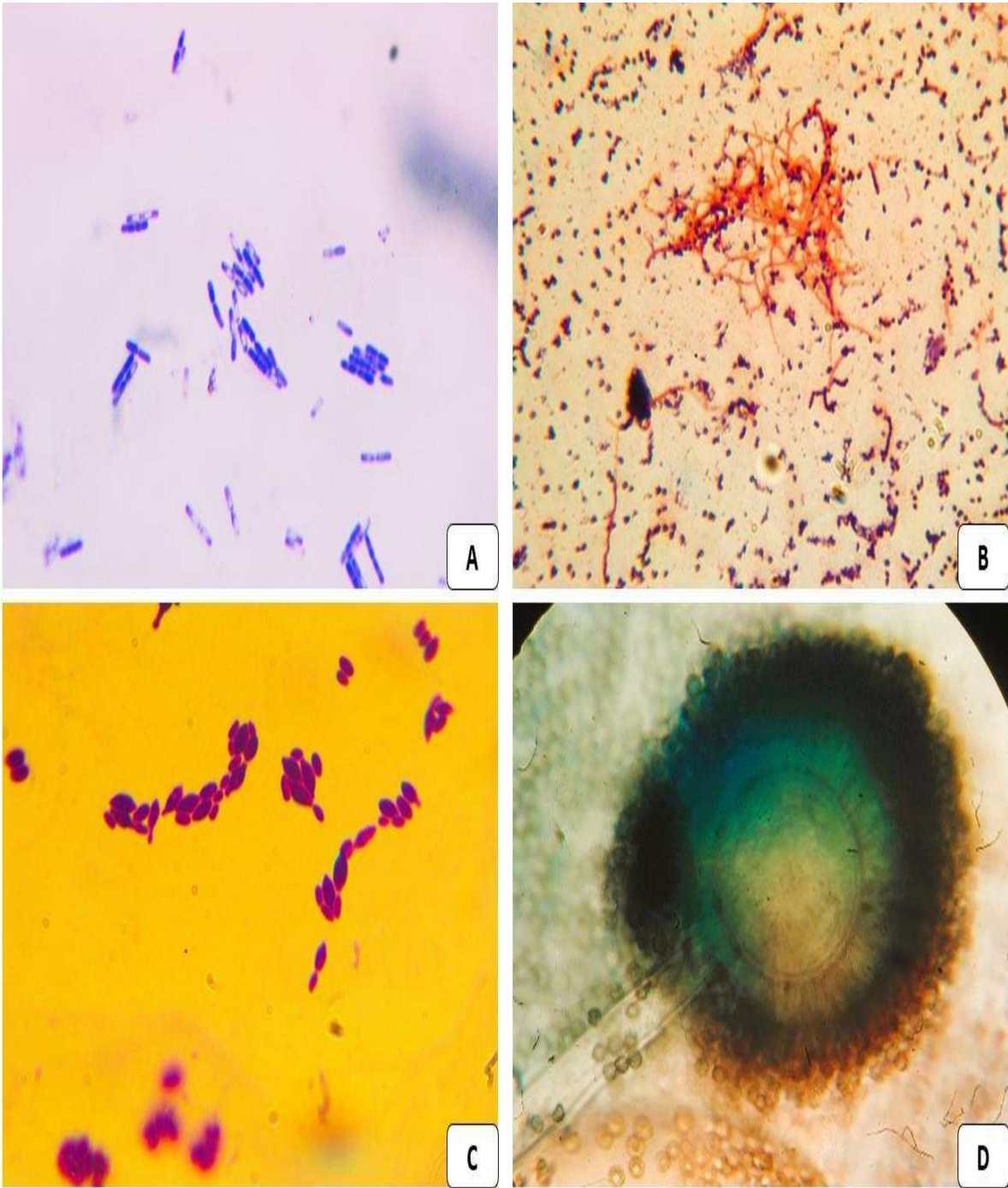


Figura 3. Morfología microscópica de microorganismos aislados de suelos. A. Bacterias; B. Actinobacteria; C. Levaduras y D. Hongo filamentoso.
Fuente: elaboración propia.

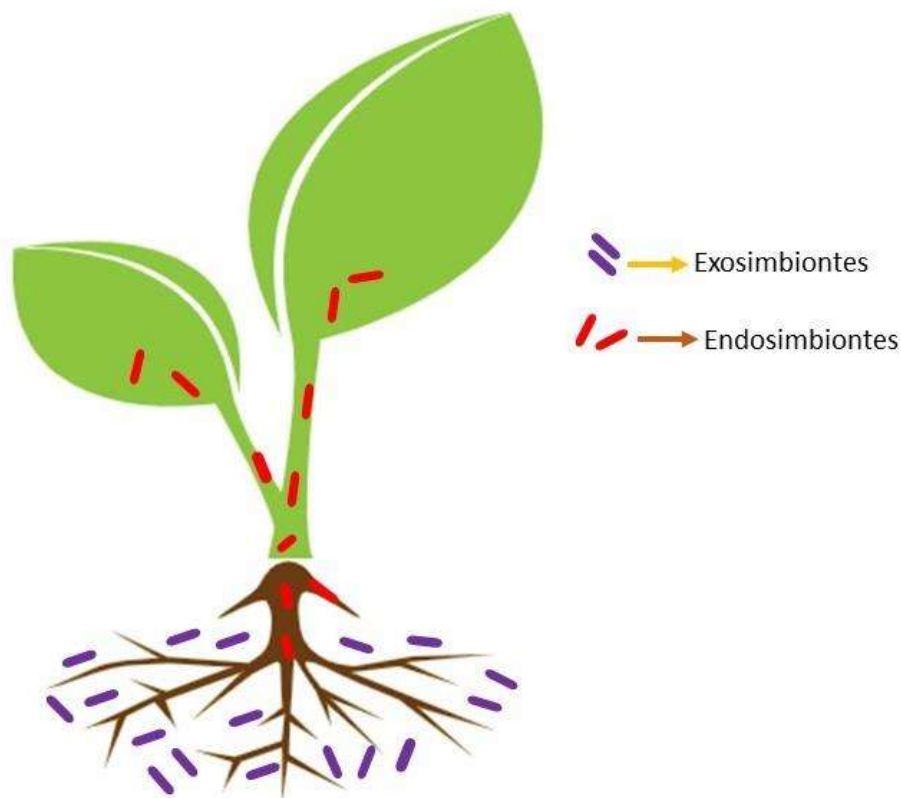


Figura 4. Microorganismos endosimbiontes y exosimbiontes.

Fuente: elaboración propia

6.1.5. Mecanismos de acción de los microorganismos en la promoción y crecimiento vegetal

Intervención en ciclos biogeoquímicos de la naturaleza

Los microorganismos participan en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo (Figura 5), y demás elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La acción de estos incluye la fijación, solubilización, volatilización, movilización e inmovilización de los nutrientes para las plantas lo que hace que la actividad de los microorganismos regule de alguna manera el crecimiento y desarrollo vegetal.

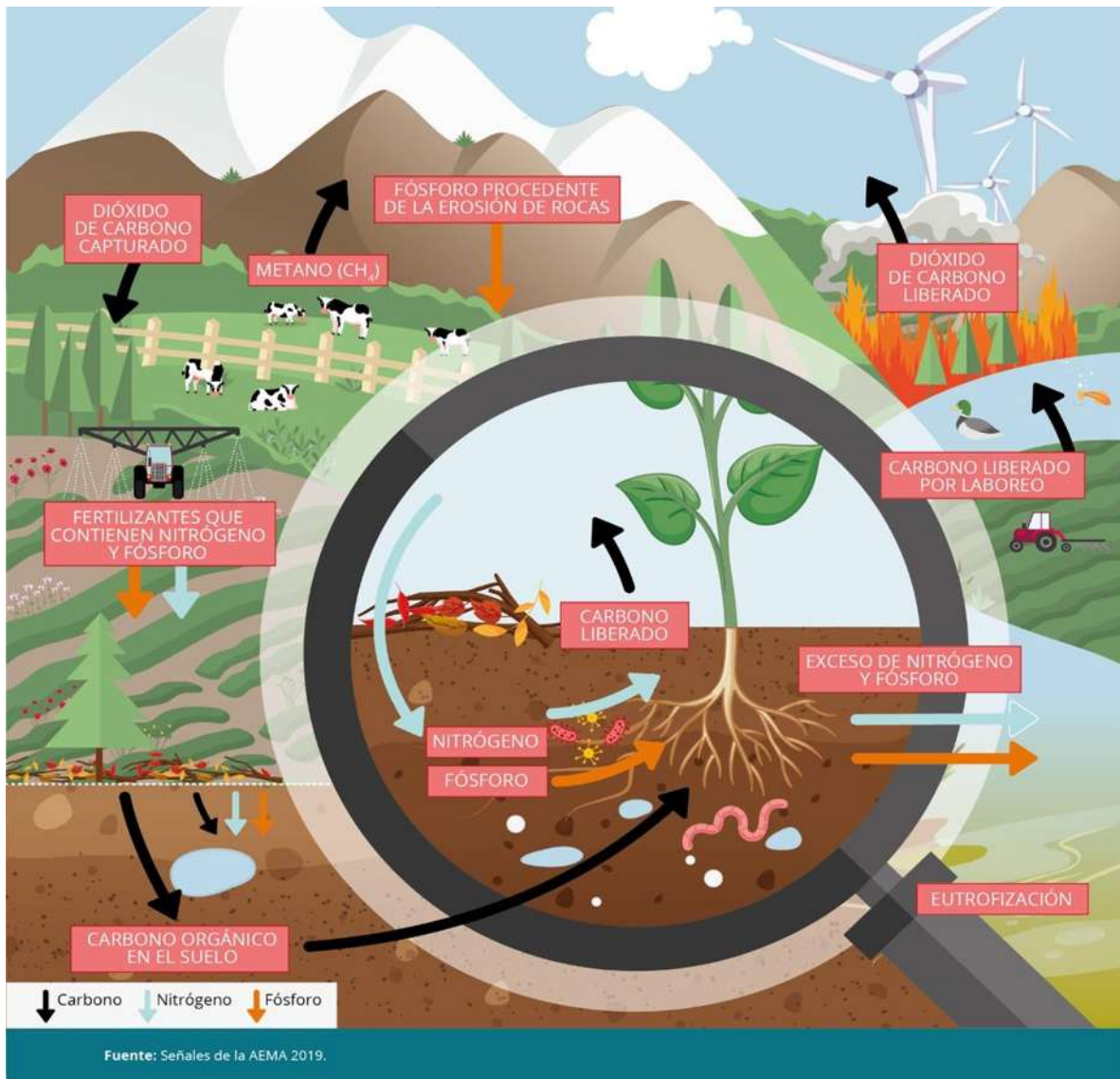


Figura 5. Microorganismos que intervienen en los ciclos biogeoquímicos de la naturaleza.
Fuente: European Environment Agency, 2023.

6.1.6. Fijación de nitrógeno atmosférico

El nitrógeno, es uno de los nutrientes principales para las plantas y también de los más escasos en el suelo, debido a su alta movilidad y reactividad. Principalmente es proporcionado al suelo mediante fertilizaciones químicas; sin embargo, existe un grupo de microorganismos, especialmente bacterias, que tienen la asombrosa capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, hasta 78 % de la atmósfera, y convertirlo en formas disponibles para

que las plantas lo puedan absorber y aprovechar para su crecimiento. En este sentido, existen microorganismos como *Rhizobium* sp y *Bradyrhizobium* sp que fijan nitrógeno atmosférico de manera simbiótica, esto quiere decir que entran en las raíces de las plantas y forman estructuras donde se lleva a cabo la fijación llamadas nódulos. Este proceso sucede de forma específica en leguminosas como el frijol, el garbanzo o el chícharo (Figura 6).

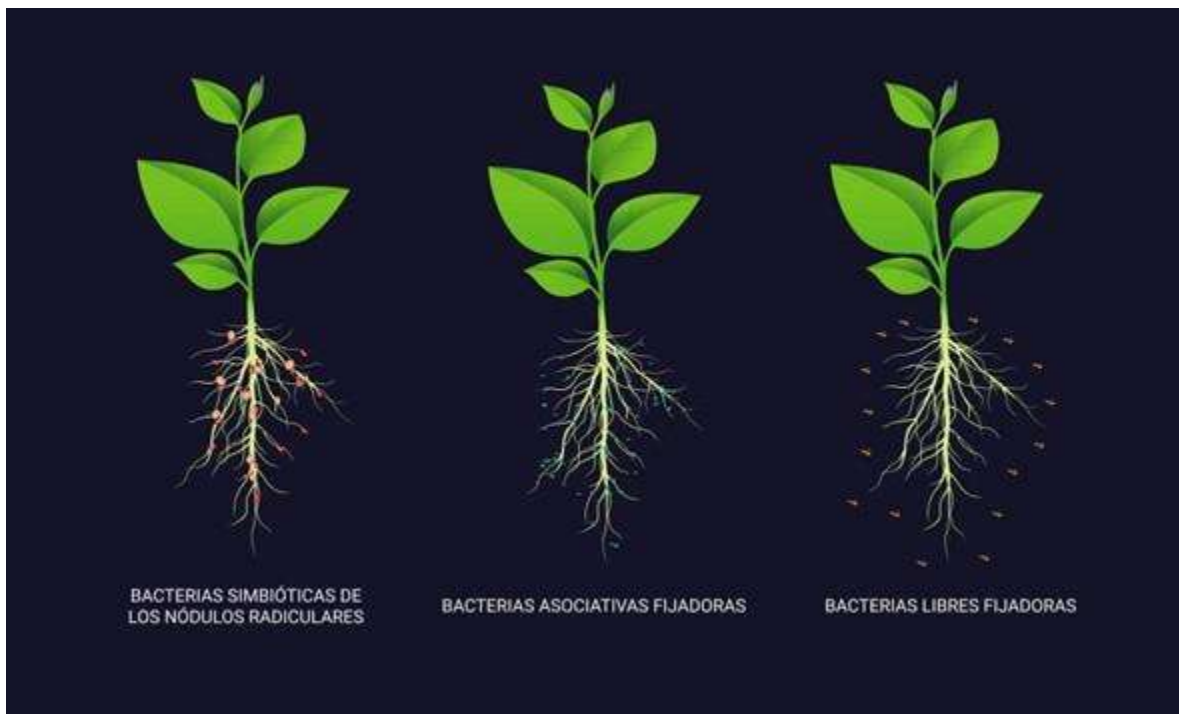


Figura 6. Tipos de bacterias fijadoras de nitrógeno. Fuente: Cherlinka., 2023.

Cabe mencionar que algunos géneros bacterianos que se establecen en la rizosfera no necesitan una relación simbiótica con las raíces para fijar nitrógeno atmosférico. Géneros como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter* y *Herbaspirillum*, realizan este proceso de forma individual conocido como “de vida libre”. La cantidad de nitrógeno que pueden fijar los microorganismos depende del contenido de materia orgánica y temperatura que se encuentren en su hábitat. Se sabe que al aplicar

Azospirillum sp en cultivos de trigo y maíz se puede aportar por este proceso de fijación biológica del 5% al 18% del contenido de nitrógeno total de la planta. Las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico son un gran potencial para disminuir la cantidad de fertilizantes nitrogenados químicos; ya que la aplicación excesiva de estos en el suelo, ocasiona pérdida de fertilidad, productividad y genera contaminación.

6.1.7. Solubilización de fosfatos

La cantidad de fósforo disponible en el suelo suele ser pequeña para los requerimientos nutricionales de los cultivos, ya que la mayoría se encuentra formando complejos químicos insolubles con otros minerales presentes en el suelo como calcio, hierro y aluminio, en forma de fosfato tricálcico (Ca_3PO_4), fosfato de hierro (FePO_4), fosfato de aluminio (AlPO_4), respectivamente, formas químicas que las plantas no pueden absorber. Algunos microorganismos tienen la capacidad de solubilizar estos complejos, mediante la utilización de los azúcares que exudan las raíces de las plantas, los cuales son metabolizados; en este proceso liberan ácidos orgánicos como: ácido butírico, oxálico, málico, succínico, láctico, cítrico, que acidifican el suelo, lo cual genera reacciones que separan los fosfatos del calcio, hierro y aluminio del fósforo, dejando asimilable el fósforo para las plantas. Otro mecanismo de los microorganismos para solubilizar el fósforo es mediante la separación de fosfatos por medio de la producción de enzimas (moléculas orgánicas que aceleran la velocidad de la reacción), como las fosfatasas ácidas y alcalinas (Figura 7), que son capaces de solubilizar el fósforo procedente de la materia orgánica mediante la hidrólisis de enlaces éster del fosfato orgánico. Los microorganismos producen estas enzimas en condiciones específicas, cuando hay disponibilidad de materia orgánica como el humus, estiércol, residuos vegetales; en un suelo con bajo nivel de fósforo, estos factores protegen las enzimas y hacen que persistan en

el suelo por largo tiempo. Cabe mencionar que las enzimas fosfatasas ácidas actúan en un pH de 4 y las alcalinas en un pH de 9, pero si se producen cambios bruscos de pH puede que las enzimas se inactiven. Algunos géneros de bacterias que realizan este mecanismo son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*; actinomicetos como *Streptomyces* y *Micromonospora*.

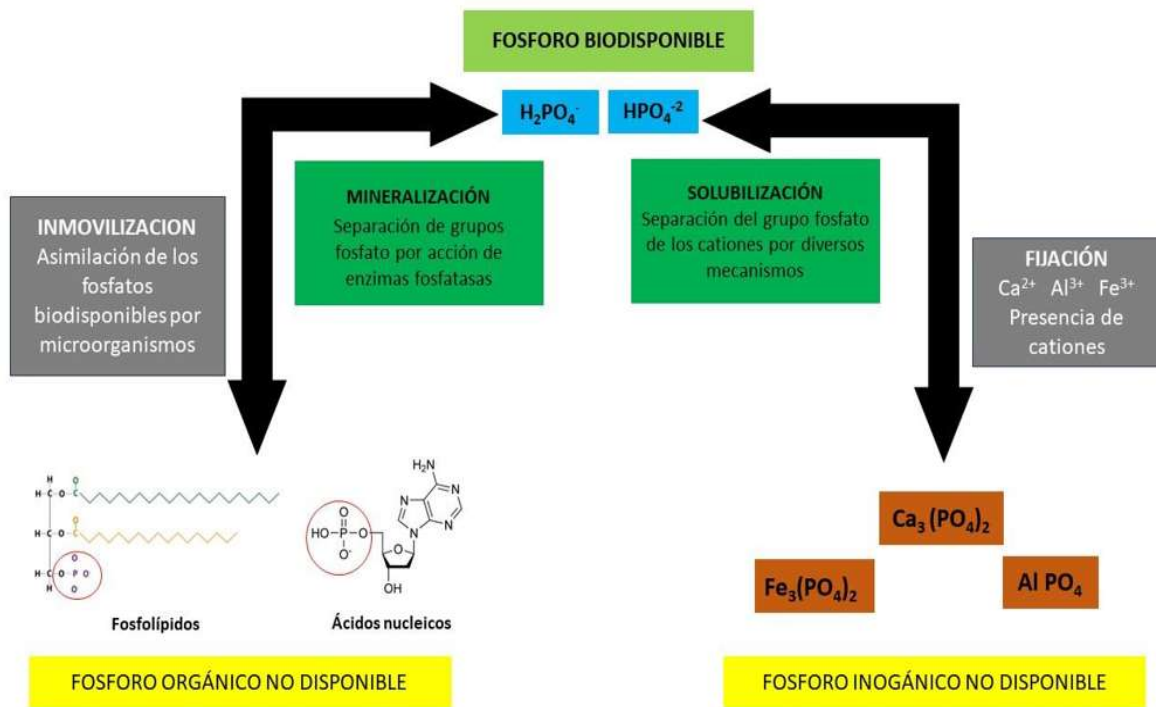


Figura 7. Formas del fósforo en el suelo. Fuente: Tun-Che, 2018.

6.1.8. Producción de sideróforos

¿Qué es un sideróforo? son compuestos orgánicos también llamados “quelantes” de bajo peso molecular, su acción es atraer el hierro hacia las raíces de la planta para que lo pueda absorber, esta es una manera indirecta de la adquisición del hierro (Figura 8). Cabe mencionar que el hierro, es un nutriente esencial para las plantas debido a que actúa en procesos como la respiración, fotosíntesis y fijación de nitrógeno; pero en el suelo se encuentra unido con

óxidos y esto los hace no disponibles para las plantas. Es en esta etapa donde entra la acción de los sideróforos, algunas bacterias que producen estos compuestos son *Bacillus firmus*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Pseudomonas aureofaciens*. *Pseudomonas putida*; y actinobacterias del género *Streptomyces*.

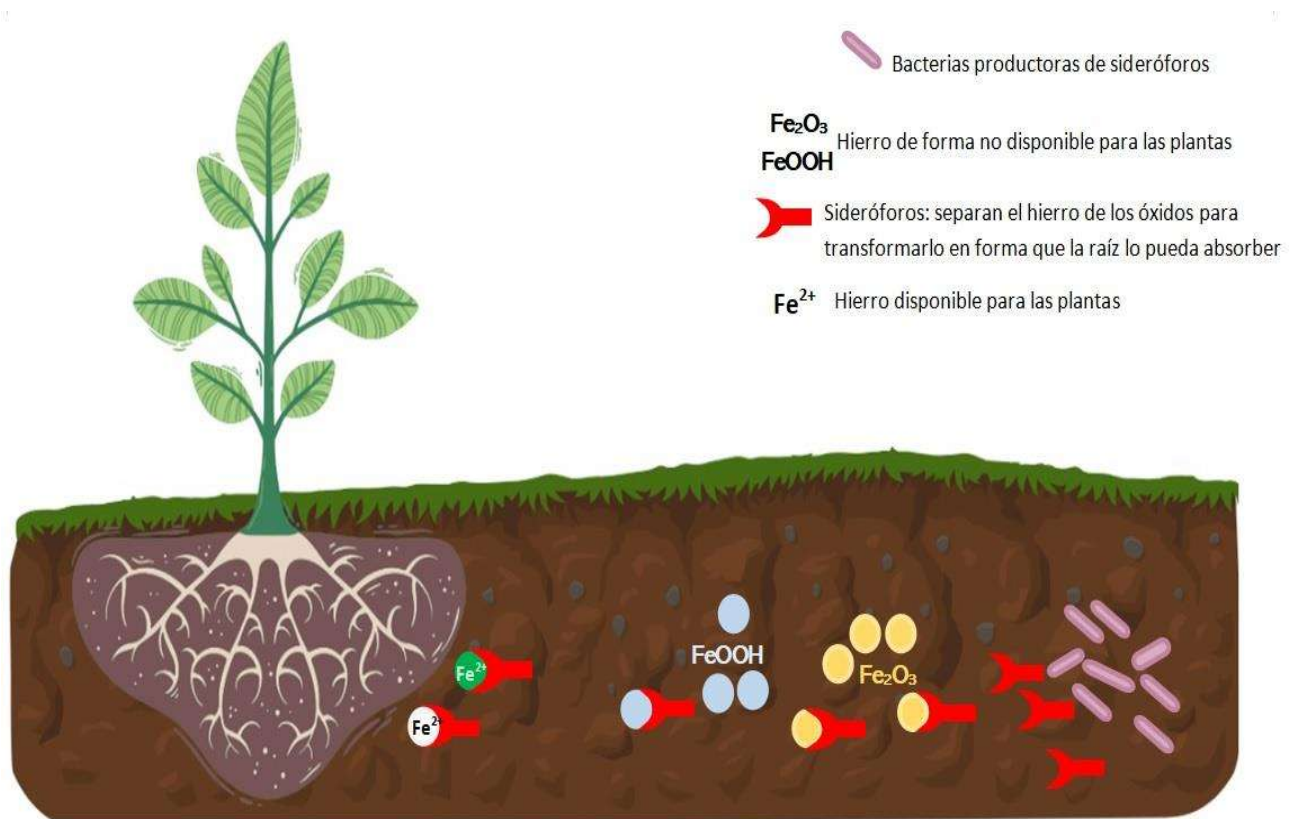


Figura 8. Función de los sideróforos en la adquisición de hierro para las plantas.
 Fuente: elaboración propia.

6.1.9. Producción de fitohormonas

Los microorganismos por procesos propios de su metabolismo primario y secundario sintetizan y excretan hacia su exterior, ciertos compuestos orgánicos que tienen actividad como reguladores del crecimiento para las plantas. Por ejemplo, el triptófano, conocido como un aminoácido esencial que induce la vía de síntesis de una de las hormonas vegetales llamadas auxinas, las cuales aumentan la producción de raíces y de esta manera la planta mejora la exploración en el suelo y puede encontrar más nutrientes; la adenina, que es una

base nitrogenada constituyente del ADN, actúa como el precursor de otras hormonas vegetales llamadas citoquininas, estas intervienen en el desarrollo del fruto; la fenilalanina, tiene acción como el precursor del ácido salicílico clasificado como otra hormona vegetal, la cual acelera la floración y aumenta la resistencia a la falta de agua; el caroteno, induce la producción de ácido abscísico que interviene en el desarrollo y maduración de las semillas; otros aminoácidos como el ácido glutámico, treonina, glicina y arginina son iniciadores de la producción de giberelinas que estimulan la germinación de las semillas (Cuadro 1). Cabe destacar que las plantas producen hormonas en poca cantidad, pero los microorganismos estimulan el aumento del contenido de las mismas para incrementar el crecimiento vegetal. Algunos géneros y especies de bacterias que producen fitohormonas son: *Azospirillum brasilense*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Bacillus licheniformis*, *Rhizobium leguminosarum* y *Pseudomonas*; y actinobacterias como *Frankia*, *Micromonospora* y *Streptomyces*.

Cuadro 1. Iniciadores de hormonas vegetales y funciones en la planta.

Iniciador de la producción fitohormonas	Fitohormona	Funciones de las fitohormonas en la planta
Triptófano	Auxina	Causa división celular. Formación y alargamiento de tallos. Producción de raíces.
Adenina	Citoquinina	División celular. Evita el envejecimiento de la planta. Acelera la germinación de las semillas. Estimula el crecimiento de brotes laterales de tallos y raíces. Necesaria para la maduración de los frutos.
Fenilalanina	Ácido salicílico	Controla la actividad de la fotosíntesis con el cierre de las estomas. Acelera la floración. Induce resistencia de las plantas en ambientes con poca agua y con mayor salinidad.
Acido glutámico, treonina, glicina, prolina y arginina	Giberelinas	Acelera la germinación de las semillas. Aumenta el desarrollo de los tejidos de la planta. Participa en el proceso de la floración.
Ácido aspártico y metionina	Etileno	Acelera la maduración de los frutos. Promueve la formación de raíces laterales. En bajas concentraciones potencializa la acción de la auxina y citoquina.
Carotenoides	Ácido abscísico	Regula el cierre y apertura de los estomas. Induce a la activación de la resistencia de la planta. Interviene en el desarrollo y maduración de semillas.

Fuente: elaboración propia.

6.1.10. Enemigos de microorganismos perjudiciales para las plantas

Los microorganismos que se encuentran en la rizosfera están en una competencia y lucha constante por asociarse con las raíces de las plantas junto con otro grupo de microorganismos que pueden ser nocivos para las plantas, es decir, son patógenos y les pueden provocar daños e inclusive la muerte. Las bacterias, actinobacterias y hongos tienen la capacidad de ejercer un efecto contra los microorganismos patógenos llamado actividad antagónica; esta acción se lleva a cabo mediante diferentes mecanismos con la producción de:

- 1) Enzimas líticas que degradan la pared celular del microorganismo perjudicial, esto ocasiona la ruptura celular del patógeno.
- 2) Compuestos volátiles, estos son detectados por las plantas y funcionan como un activador de los mecanismos de defensa propios de la planta que indican que está en peligro por el ataque de un fitopatógeno (Figura 9).
- 3) Antibióticos, también llamado como biocontrol, estos pueden ser compuestos volátiles y no volátiles, los cuales inhiben el crecimiento y desarrollo de microorganismos.
- 4) Competencia: indica la lucha entre microorganismos para obtener los nutrientes, donde implica el daño de un microorganismo para que el otro pueda sobrevivir.
- 5) Amensalismo: también llamado antagonismo, en esta relación los microorganismos impiden el desarrollo y supervivencia del microorganismo patógeno.

Por lo anterior, la relación benéfica entre planta-microorganismos, conlleva a un combate en conjunto para poder sobrevivir en el ambiente circundante

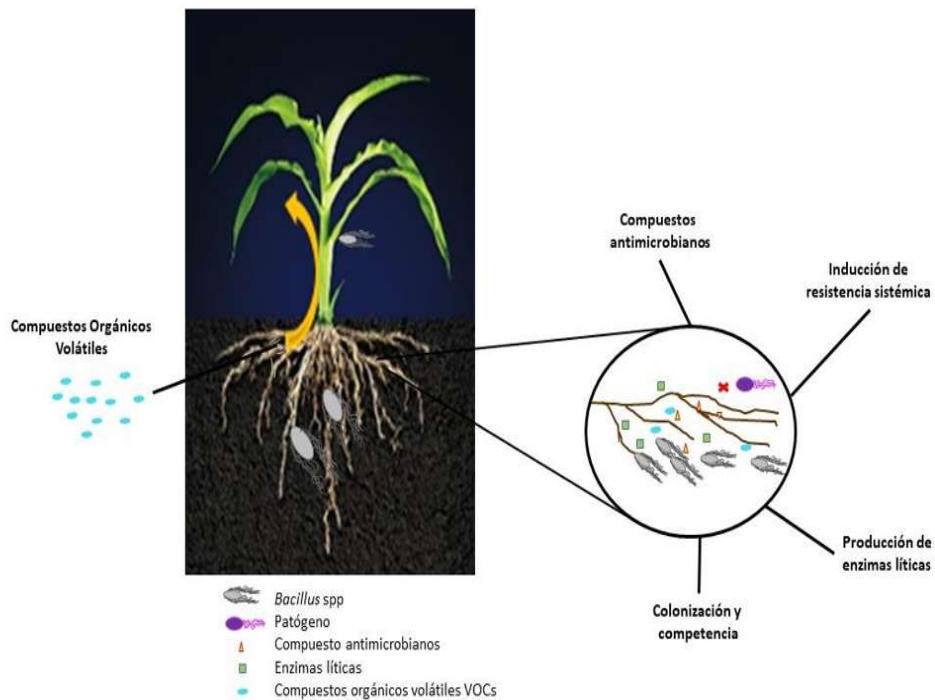


Figura 9. Mecanismos de biocontrol de *Bacillus* sp, contra microorganismos fitopatógenos en plantas. Fuente: Pedraza et al., 2020.

6.1.11. Conclusión

Las interacciones entre los microorganismos en el suelo y las raíces de las plantas pueden ser benéficas para el crecimiento y la sanidad vegetal, aunque también existen algunas relaciones perjudiciales. Los microorganismos de la rizosfera como bacterias, actinobacterias, hongos micorrízicos arbusculares, levaduras y hongos filamentosos estarán relacionados a lo largo del tiempo con las plantas formando parte del equilibrio natural de las interacciones en los ecosistemas.

6.1.12. Bibliografía

Alcantara-Cortes, J. S., Acero Godoy, J., Alcántara Cortés, J. D., y Sánchez Mora, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento

vegetal. *Nova*, 17(32), 109-129. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702019000200109&script=sci_arttext

Arias-Mota, R. M., Romero-Fernández, A. D. J., Bañuelos-Trejo, J. y Cruz-Elizondo, Y. D. L. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(8), 1747-1757. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1558>

Cabrera, E. V. R., Bonilla, B., y Aguilar, M. (2018). Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Citecsa*, 10(15), 23. <https://www.proquest.com/openview/095b7a5b32005fa2df9eba0e53d63903/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2043072>

Cadena-Zamudio, J. D., Martínez-Peña, M. D., Guzmán-Rodríguez, L. F., Arteaga-Garibay, R. I., y De Morelos, T. (2016). Aplicación de secuenciación masiva para el estudio y exploración de diversidad microbiana y su aprovechamiento biotecnológico. *Agroproductividad*, 9(2), 70-83. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/723>

Castaño, A. M. P., Durango, D. P. M., Polanco-Echeverry, D., y Arias, J. A. C. (2021). Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 161-178. <https://doi.org/10.22490/21456453.4040>

Cherlinka, V. (01 febrero 2023). *Fijación Biológica De Nitrógeno: Plantas Y Bacterias*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/fijacion-biologica-de-nitrogeno/>

European Environment Agency. (29 agosto 2023). *Ciclo de nutrientes de la naturaleza*.

<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/infografia/ciclo-de-nutrientes-de-la-naturaleza/view>

Corrales Ramirez, L. C., Arevalo Galvez, Z. Y., y Moreno Burbano, V. E. (2014).

Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo

vegetal. *Nova*, 12(21), 68-79. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702014000100006&script=sci_arttext)

[24702014000100006&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702014000100006&script=sci_arttext)

De-Bashan, L. E., Holguin, G., Glick, B. R., y Bashan, Y. (2007). *Microbiología agrícola*.

Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico, planta-microorganismo.

Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. Editorial Trillas, 170-224.

https://www.researchgate.net/publication/255484106_Plant_growthpromoting_bacteria_for_agriculture_and_the_environment

León-Fajardo, M., Mancilla-Felipez J. D., & Ortuño-Castro, F. N. (2019). Evaluación de

bacterias endófitas promotoras de crecimiento en el cultivo de quinua. *Journal of the*

Selva Andina Biosphere, 7(2), 88-99.

http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v7n2/v7n2_a03.pdf

Moreno-Reséndez, A., Carda-Mendoza, V., Reyes-Carrillo, J. L., Vásquez-Arroyo, J., y

Cano-Ríos, P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una

alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de*

Biología, 20(1), 68-83. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752018000100068&script=sci_arttext)

[34752018000100068&script=sci_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752018000100068&script=sci_arttext)

- Ona-Yanez, L. (2021). Plantas y microorganismos rizosféricos: Una vía sostenible para generar crecimiento vegetal. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación Y Saberes*, 11(3), 110-131. <https://orcid.org/0000-0001-5958-9057>
- Pedraza, L. A., López, C. E., y Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta biológica colombiana*, 25(1), 112-125. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120548X2020000100112&script=sci_abstract&tlng=en
- Tun-Che, R. E. (14 julio 2018). *Microorganismos solubilizadores de fósforo mineral y su importancia en la agricultura*. <http://sciellage.wordpress.com/2018/07/14/mircoorganismos-solubilizadores-de-fosforo-mineral-y-su-importancia-en-la-agricultura/>
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., y Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.470>
- Vinchira-Villarraga, D. M., y Moreno-Sarmiento, N. (2019). Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 2-5. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012334752019000100002&script=sci_arttext

VII. Resultados

Capítulo 7.1. Diversidad bacteriana y fitotoxicidad de vermicompostas obtenidas de residuos de aguacate con distinto manejo agronómico y estiércol bovino

7.1.1. Resumen

La diversidad bacteriana presente en las vermicompostas es importante en la conversión de residuos orgánicos y junto con la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), ayudan a transformar los residuos vegetales y estiércoles de ganado, en lixiviados y vermicompost que

son utilizados en la agricultura como fertilizantes para incrementar la producción de los cultivos. Al terminar el proceso de vermicomposteo, esa diversidad bacteriana presente en la descomposición de los residuos se mantiene en el lixiviado y vermicompost. Por lo tanto, en esta investigación se tuvo como objetivos: aislar bacterias de intestino, piel, lixiviados y vermicompost de vermicompostas elaboradas con residuos vegetales de manejo convencional y orgánico y, evaluar la fitotoxicidad de los lixiviados y vermicompost en plantas de importancia agrícola. Para lo cual, se elaboraron dos vermicompostas con residuos de aguacate de manejo convencional y orgánico con estiércol bovino, después se aislaron y caracterizaron las bacterias de cada vermicomposta y se determinó el índice de diversidad de Shannon (IDS). Así mismo se evaluó la fitotoxicidad de los lixiviados y vermicompost en plantas de interés económico. Los residuos de aguacate de diferente manejo agronómico no influyeron en las diferencias morfológicas de las bacterias aisladas, el IDS del vermicompost de residuos orgánicos tuvo un incremento respecto a los otros. Solo se encontró fitotoxicidad en los lixiviados concentrados de ambas vermicompostas. Se puede concluir que los residuos vegetales de cultivos convencionales y orgánicos añadidos en el proceso de vermicomposteo no determinaron diferencias específicas morfológicas en las bacterias; en el caso del IDS, los residuos orgánicos aumentaron la diversidad bacteriana en la y la fitotoxicidad de los lixiviados de ambas vermicompostas pudo deberse a la conductividad eléctrica.

Palabras clave: aislados, *E. foetida*, lixiviados, vermicompost

7.1.2. Abstract

The bacterial diversity present in vermicomposts is important in the conversion of organic waste and, together with the Californian red worm (*Eisenia foetida*), helps to transform vegetable waste and livestock manure into leachate and vermicompost that are used in agriculture as fertilizers to increase crop production. At the end of the vermicomposting process, the bacterial diversity present in the decomposition of waste is maintained in the leachate and vermicompost. Therefore, the objectives of this research were: to isolate gut, skin, leachate and vermicompost bacteria from vermicomposts made from conventional and organic plant residues, and to evaluate the phytotoxicity of leachates and vermicompost on agriculturally important plants. For this purpose, two vermicomposts were made with conventionally and organically managed avocado residues and bovine manure, then the bacteria in each vermicompost were isolated and characterized, and the Shannon diversity

index (SDI) was determined. The phytotoxicity of leachates and vermicompost on plants of economic interest was also evaluated. Avocado residues of different agronomic management did not influence the morphological differences of the isolated bacteria, the SDI of the vermicompost of organic residues had an increase with respect to the others. Phytotoxicity was only found in the concentrated leachates of both vermicomposts. It can be concluded that plant residues from conventional and organic crops added in the vermicomposting process did not determine specific morphological differences in the bacteria; in the case of the SDI, the organic residues increased the bacterial diversity of the bacteria and the phytotoxicity of the leachates from both vermicomposts could be due to the electrical conductivity of the bacteria.

Key words: isolates, *E. foetida*, leachates, vermicompost, vermicompost.

7.1.3. Introducción

La población bacteriana en las vermicompostas juega un papel importante para llevar a cabo un proceso biológico de la conversión de residuos orgánico por medio de una descomposición aeróbica que la lleva a cabo la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), que junto con las bacterias ayudan a transforman los residuos orgánicos en lixiviados y vermicompost; estos son utilizados como fertilizantes y mejoradores de suelos, en uso directo en suelos y a las plantas de manera foliar (Adhikary, 2012; Lim *et al.*, 2015). En los lixiviados y vermicompost, se encuentra una diversidad bacteriana con la capacidad de aumentar la productividad de los cultivos y de otorgarle una estabilidad estructural a los suelos (Satpathy *et al.*, 2020).

Existen investigaciones sobre la presencia de bacterias en las vermicompostas, Pozo *et al.* (2008), realizaron un análisis biológico y microbiano del vermicompost de *E. foetida*, donde registraron un 38.20×10^5 UFC/mL de bacterias, estos resultados indicaron que las bacterias están presentes en la vermicomposta para aumentar la descomposición de la materia orgánica. Mientras De la Mora-Covarrubias *et al.* (2016) analizaron lixiviado de una vermicomposta con estiércol bovino, del cual aislaron *Bacillus polymyxa*, *Bacillus alvei*, *Bacillus cereus* y *Bacillus subtilis*; y del intestino de las *E. foetida* registraron 12.11×10^3 UFC/mL, con estos resultados demostraron que el lixiviado de vermicomposta posee mayor uniformidad bacteriana.

Los efectos de la aplicación de estos productos obtenidos en el vermicomposteo han sido ampliamente evaluados, Nava- Pérez et al. (2019) utilizando vermicompost elaborado a partir de estiércol de bovino y desechos vegetales, reportaron que aceleró la germinación de semillas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) y las raíces de las plantas fueron más extensas. Terry-Alfonso et al. (2022), evaluaron el lixiviado de vermicompost de estiércol bovino en semillas de col (*Brassica oleracea*) registraron una germinación del 97 % y 7.65 cm de longitud de radícula, valores que fueron significativamente mayores a lo obtenido en el tratamiento sin aplicación de lixiviados de vermicompost. Por otro lado, los beneficios del uso de vermicompostas y sus lixiviados, depende en gran medida del origen de los residuos orgánicos y su modo de elaboración.

Por lo cual, esta investigación tuvo como objetivos: 1) aislar bacterias de intestino, piel, lixiviados y vermicompost de vermicompostas elaboradas con residuos vegetales de manejo convencional y orgánico y, 2) evaluar la fitotoxicidad de los lixiviados y vermicompost en plantas con importancia agrícola. Por lo anterior, en esta investigación se espera encontrar mayor diversidad bacteriana en las vermicompostas con residuos de manejo orgánico y menor fitotoxicidad de esta misma vermicomposta en plantas con interés económico.

7.1.4. Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos de este trabajo, primero se tuvieron que elaborar las vermicompostas de residuos de aguacate de distinto manejo agrícola y de estas mismas se obtuvieron los lixiviados y muestras de *E. foetida* y vermicompost donde se aislaron bacterias y posteriormente se evaluó la fitotoxicidad de las vermicompostas y lixiviados.

7.1.4.1. Elaboración de vermicompostas

Se colectaron hojas, ramas y frutos de aguacate (*P. americana*), de una parcela de manejo convencional de Tingambato y de una parcela con manejo orgánico de Copándaro Michoacán (Fig. 10 a, b, c y d). Los residuos colectados se trituraron en un molino de forraje, se homogenizó y guardó hasta su utilización. El estiércol utilizado para la vermicomposta se colectó del sector de bovinos de carne de la posta veterinaria de la UMSNH. Este, previo a su utilización, se precomposteo (se dejó secar y se utilizó cuando su pH fue de 8.0) (Fig. 10 e) (Morales–Munguía *et al.*, 2009). Para acelerar el proceso de mineralización de la materia orgánica se utilizó lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) donadas por la Dra. Ernestina

Gutiérrez Vázquez del IIAF de la UMSNH. Para el proceso de vermicomposteo, se armaron camas composteadoras con cajas de plástico (40 cm de ancho, 70 cm de largo y 25 cm de profundidad), a las cuales se les hicieron perforaciones por la parte de abajo (Fig. 11), para la recolección del lixiviado; las perforaciones se sellaron con tela tergal francés para filtrar el lixiviado y se colocaron de forma inclinada (Schuldt *et al.*, 2007).



Figura 10. Residuos vegetales y estiércol añadidos a las vermicompostas. a y b= hojas, ramas y aguacate de manejo convencional; c y d = hojas y ramas de parcela orgánica de aguacate; e = estiércol bovino precompostado.



Figura 11. Caja de plástico utilizada para las vermicompostas.

A las camas se les añadió cada tercer día 10 cm de la mezcla de los residuos de *P. americana* y estiércol bovino precompostado hasta que la cama se llenó, durante ese tiempo se mantuvo la humedad de los residuos al 80 % que se comprobó con la prueba de puño (Pineda, 2006). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DECA), donde el factor a evaluar fue el origen de los residuos vegetales (convencional y orgánico) (Cuadro 2). Cada tratamiento se repitió tres veces y las camas se establecieron en un área protegida de la luz directa del sol.

Cuadro 2. Diseño experimental de la Elaboración de las vermicompostas con residuos vegetales de diferente manejo agronómico.

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen de ramas, hojas y frutos de aguacate (<i>Persea americana</i>)	Convencional	Estiércol bovino + RC
	Orgánico	Estiércol bovino + RO

RC = residuos convencionales; RO = residuos orgánicos.

Adicionalmente se incluyó un tratamiento control donde no se colocó residuo vegetal. En total se tuvieron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno (Fig. 12). Después de siete meses de inicio de la elaboración de las vermicompostas, se suspendió el riego y se realizó la cosecha de *E. foetida* y el cernido del humus. Para esta fecha las mezclas presentaron una apariencia de suelo color marrón, sin olor fétido ni residuos de *P. americana* o estiércol (Fig. 13), lo cual es indicador de que la mezcla ya estaba madura (Yagüe, 1987).

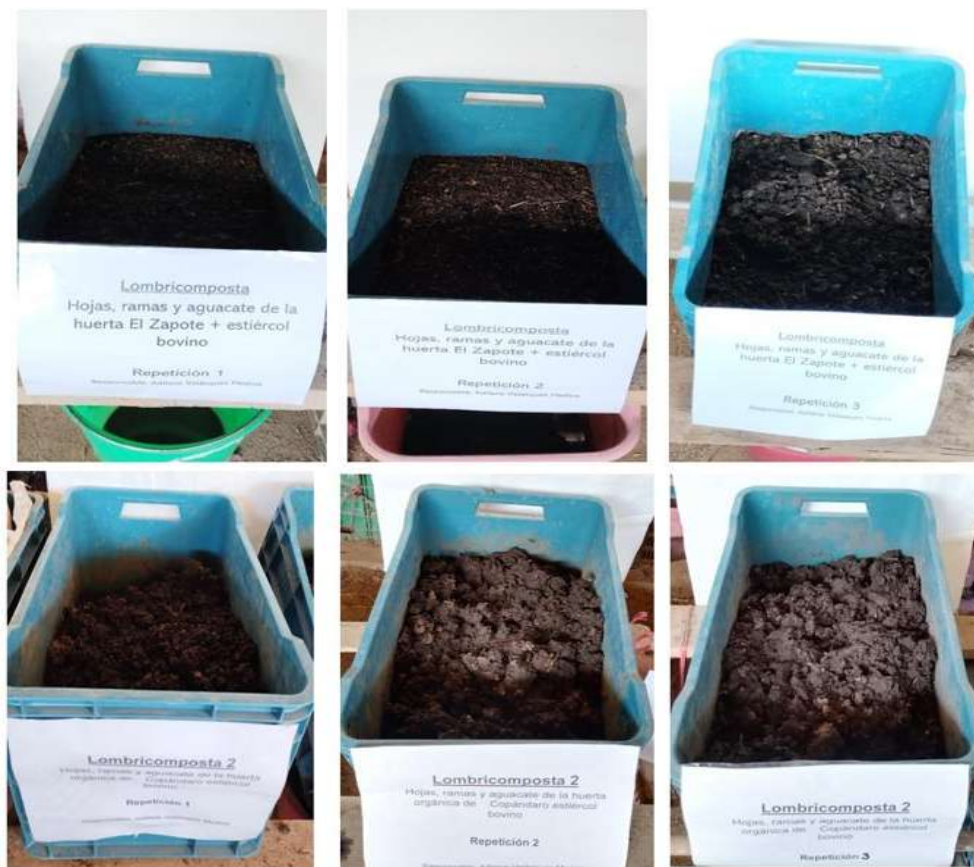


Figura 12. Camas de vermicompostas con recolección de lixiviado utilizados como unidades experimentales para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo de investigación.



Figura 13. Aspecto general de fertilizante biológico obtenido a partir de lombrices. a = vermicompost de vermicomposta con residuos de *P. americana* convencional. b = vermicompost de vermicomposta con residuos de *P. americana* orgánico

7.1.4.2. Aislamiento de bacterias del intestino, piel de *E. foetida*, lixiviado y vermicompost

Para el aislamiento de bacterias del intestino de *E. foetida* se utilizó la metodología de Owa. et al., (2014) modificada, por lo que, se tomaron 5 lombrices por cada vermicomposta, se fijaron horizontalmente sobre un mortero estéril y se inició a diseccionar de la parte dorsal hacía abajo, la parte ventral se abrió longitudinalmente con un bisturí estéril a lo largo de *E. foetida* y se extrajeron los intestinos con 10 mL de solución salina detergente al 1 % los cuales se depositaron en un tubo de ensaye. Para el aislamiento de bacterias de la piel de *E. foetida* se tomaron 5 lombrices de cada vermicomposta y se lavaron con 10 mL de agua desionizada estéril, esta agua se colectó en un tubo de ensaye. De cada muestra se depositó 1 ml de la solución salina de detergente con los intestinos, lavado de piel, lixiviados y 1 g de vermicompost de cada vermicomposta y en 9 mL de agua desionizada estéril, se mezclaron por 5 minutos en vortex y se preparación diluciones seriadas, de las cuales de la 10^{-2} hasta 10^{-7} , se tomó una alícuota de 100 μ L y se inoculó en cajas Petri con agar nutritivo (AN), se

diseminó con un asa metálica Digralsky. Las cajas se dejaron en incubación a 32°C por 36 h (Bamidele, 2014). Pasado este tiempo, se observó la diversidad de colonias bacterianas y se purificaron. Después se describió la morfología macroscópica (tamaño, forma, borde, transparencia, brillo, color, textura, elevación, consistencia) y para cada bacteria se realizó la descripción de la morfología microscópica mediante la tinción Gram con un kit de tinción diferencial de bacterias HYCEL (Alcarraz *et al.*, 2019). Para determinar la diversidad de bacterias aisladas de los distintos ambientes se determinó el índice de diversidad de Shannon (IDS) (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2007) con la siguiente formula:

$$H' = \sum_{i=1} (p_i) (\ln p_i)$$

H' = índice de diversidad de Shannon

∑ = sumatoria de los datos entre el total de datos, el resultado debe ser 1.

p_i = proporción del número total de individuos en la especie i

ln = logaritmo natural

7.1.4.3. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de las vermicompostas

Para evaluar la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados se diseñó un experimento de germinación con semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum estivum*) y maíz (*Zea mays*). Para esto se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde como factores se tuvieron, las especies vegetales, el origen del vermicompost y los lixiviados a tres concentraciones (Cuadro 3), lo cual generó ocho tratamientos los cuales se repitieron cinco veces, como unidad experimental se tuvo una caja Petri con 10 semillas de cada especie evaluada. Se estableció un tratamiento control el cual solo se agregó agua a la caja Petri. Las semillas de frijol, jitomate, trigo y maíz se colocaron en 5 g de vermicompost en cajas Petri y en los tratamientos con los lixiviados se le añadió 5 mL, se pusieron 10 semillas de las diferentes especies y se mantuvieron en una cámara de crecimiento a 28°C hasta que en el control germinaron todas las semillas. Al vermicompost y lixiviados en sus diferentes concentraciones se les midió el pH y conductividad eléctrica (CE) con un potenciómetro (Groline Hanna H98131). Las variables respuesta evaluadas

fueron: el porcentaje de germinación (PG), altura del hipocótilo (AH), longitud de la radícula (LR) y peso total (PT).

Cuadro 3. Diseño experimental para la evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de vermicompostas en distintos modelos experimentales.

Factor	Niveles	Tratamientos
Especies	Frijol, jitomate, trigo y maíz	
Vermicompost	Residuos de aguacate de manejo orgánico (RAO)	T1 = Vermicompost de vermicomposta orgánica (VVO)
	Residuos de aguacate de manejo convencional (RAC)	T2 = Vermicompost de vermicomposta convencional (VVC)
		T3 = Lixiviado de vermicomposta orgánica (LVO) 50 %
Lixiviados	RAO al 25 %, 50 % y 100 %	T3 = Lixiviado de vermicomposta orgánica (LVO) 50 % T4 = LVO 100 % T5 = LVO 25 %
	RAC al 25 %, 50 % y 100 %	T6 = Lixiviado de vermicomposta convencional (LVC) 50 % T7 = LVC 100 % T8 = LVC 25 %

Control

solo agua

T9 = Control

7.1.4.4. Variables físico químicas evaluadas en lixiviados

Se recolectaron lixiviados a las 3 y 10 semanas de iniciada la elaboración de cada vermicomposta. Del lixiviado se determinó la concentración de NO_3^- que se midió con un ionómetro portátil (Laquatwin NO_3 11), pH, conductividad eléctrica con un potenciómetro (Groline Hanna HI98131) y el color con la tabla de colores de Munsell.

7.1.4.5. Análisis estadístico

Los datos se les realizó pruebas de distribución normal y de Kruskal-Wallis, homocedasticidad de varianzas para cumplir los criterios y se realizaron ANOVAS, para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos se utilizó la prueba múltiple de medias Tukey ($p < 0.05$) con el paquete estadístico Statgraphics XV (2005).

7.1.5. Resultados y discusión

7.1.5.1. Aislamiento de bacterias del intestino, piel de *E. foetida*, lixiviado y vermicompost

Después de la elaboración de las vermicompostas se aislaron en total 73 bacterias (Cuadro 4). De las cuales se procedió a describir la morfología macroscópica donde se registró el tamaño, forma, borde, transparencia, brillo, color, textura, elevación, consistencia, tinción Gram y descripción de las morfologías microscópicas (Cuadros 5, 6, 7, 8, Fig. 14 y Fig. 15). Después se realizó un cuadro comparativo con las diferencias de morfológicas entre cada ambiente (lixiviado, intestino y piel de *E. foetida* y vermicompost) de cada vermicomposta (Cuadro 9). Donde se mostró que los aislados bacterianos de los diferentes ambientes de las vermicompostas con residuos de aguacate con diferente manejo agronómico no condicionan una sola característica de las morfológicas macroscópicas; ya que se encontraron algunas

similitudes entre ambas vermicompostas como en el tamaño de los aislados de lixiviado de vermicomposta convencional (LVC) y orgánica (LVO), intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica (IVO) y vermicompost de la vermicomposta convencional (VVC). En la forma solo se encontraron similitudes en intestino de *E. foetida* de vermicomposta convencional (IVC), piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica (PVO) y VVC; mientras en el borde solo hubo similitud entre los aislados de piel de *E. foetida* de vermicomposta convencional (PVC) y VVC; en la transparencia se encontraron igualdades entre IVO, VVC y vermicompost de vermicomposta orgánica (VVO); en la elevación se observó que los aislados de IVC e IVO coincidieron en los mismos datos y en la consistencia los aislados de LVC, LVO, IVC, IVO y PVO tuvieron similitudes al igual que entre PVC y VVO. Mientras que en las coloraciones se observaron diferencias entre PVC y PVO, en tanto en la clasificación de la tinción Gram, se observó que en ambas vermicompostas y en los distintos ambientes de los que se aislaron bacterias dominan las Gram positivas con la descripción morfológica microscópica de bacilos cortos y largos esporulados.

Cuadro 4. Aislados encontrados en las vermicompostas con residuos de aguacate de diferente manejo más estiércol bovino

Vermicomposta	Origen de los aislados	Número de aislados distintos
Residuos de aguacate de manejo convencional más estiércol bovino	Lixiviado	5
	Intestino de <i>E. foetida</i>	9
	Piel de <i>E. foetida</i>	12
	Vermicompost	10
Residuos de aguacate de manejo orgánico más estiércol bovino	Lixiviado	5
	Intestino de <i>E. foetida</i>	8
	Piel de <i>E. foetida</i>	10
	Vermicompost	14

Cuadro 5. Morfologías macroscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo convencional más estiércol bovino

Origen aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
Lixiviado	LC 27	Puntiforme	circular	Entero	Opaca	B	-	Lisa	Plana	Suave
	LC 30	Grande	Circular	Entero	Opaca	B	-	Rugosa	Elevada	Suave
	LC 3	Mediana	Circular	Entero	Opaca	B	-	Lisa	Elevada	Suave
	LC 25	Grande	Circular	Entero	Transparente	B	Blanca	Rugosa	Plana	Suave
	LC 26	Puntiforme	circular	Entero	Transparente	B	-	Lisa	plana	Suave
Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 51	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	-	-	Lisa	Convexa	Suave
	IC 52	Mediana	Circular	Entero	Transparente	B	-	Lisa	Convexa	Suave
	IC 53	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	IC 54	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
	IC 59	Mediana	Irregular	Lobulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Plana	Suave
	IC 61	Mediana	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Pulvinada	Suave
	IC 62	Mediana	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
	IC 79	Grande	Irregular	Lobulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	IC 80	Grande	irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Pulvinada	Mucoide

B = brillante; (-) = no aplica. LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional; PC = piel de *E. foetida* convencional.

Continuación de Cuadro 5.

Origen aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	color	Textura	Elevación	Consistencia
Piel de <i>E. foetida</i>	PC 65	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Amarillo claro	Lisa	Elevada	Suave
	PC 66	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	-	Lisa	Plana	Suave
	PC 67	Grande	Irregular	Rizado	Transparente	B	-	Lisa	Elevada	Mucoide
	PC 69	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide
	PC 77	Mediana	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Café claro	Lisa	Convexa	Suave
	PC 78	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	PC 81	Grande	Rizoide	Rizoide	Transparente	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	PC 85	Pequeña	Circular	Entero	Transparente	B	Amarilla	Lisa	Convexa	Suave
	PC 86	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Dura
	PC 87	Mediana	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	PC 88	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
PC 89	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Mucoide	
Vermicompost	VC 90	Grande	Irregular	Rizado	Transparente	B	-	Lisa	Plana	Suave
	VC 91	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide

B = brillante; (-) = no aplica. PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional

Continuación de Cuadro 5.

Origen aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	color	Textura	Elevación	Consistencia
Vermicompost	VC 92	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	VC 93	Mediana	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Amarillo claro	Lisa	Elevada	Mucoide
	VC 94	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide
	VC 95	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Amarillo claro	Lisa	Elevada	Suave
	VC 96	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Plana	Suave
	VC 97	Grande	Irregular	Rizoide	Transparente	B	-	Lisa	Plana	Suave
	VC 98	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide
	VC 99	Grande	Irregular	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave

B = brillante; (-) = no aplica. VC = vermicompost convencional.

Cuadro 6. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo convencional más estiércol bovino

Origen aislado	Aislado	Gram	Morfología microscópica
Lixiviado	LC 27	+	Bacilos anchos y largos
	LC 30	+	Bacilos largos esporulados
	LC 3	+	Bacilos esporulados
	LC 25	+	Bacilos largos y delgados
	LC 26	+	Bacilos largos
Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 51	+	Cocobacilos
	IC 52	-	Bacilos
	IC 53	+	cocos
	IC 54	+	Bacilos largos
	IC 59	+	Cocobacilos
	IC 61	+	Bacilos cortos esporulados
	IC 62	+	Bacilos esporulados
	IC 79	+	Bacilos cortos esporulados
	IC 80	+	Bacilos cortos
Piel de <i>E. foetida</i>	PC 65	-	Bacilos
	PC 66	-	Bacilos largos
	PC 67	-	Cocos

(+) = Positiva; (-) = Negativa. LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional; PC = piel de *E. foetida* convencional.

Continuación del Cuadro 6.

Origen aislado	Aislado	Gram	Morfología microscópica
Piel de <i>E. foetida</i>	PC 69	+	Bacilos cortos
	PC 77	-	Bacilos largos esporulados
	PC 78	+	Bacilos
	PC 81	+	Bacilos cortos
	PC 85	+	Bacilos largos y anchos
	PC 86	+	Bacilos largos y anchos
	PC 87	+	Bacilos largos
	PC 88	+	Bacilos cortos
	PC 89	+	Bacilos largos espora central
Vermicompost	VC 90	-	Cocobacilos
	VC 91	+	Bacilos largos espora central
	VC 92	+	Bacilos cortos esporulados
	VC 93	-	Bacilos largos espora terminal
	VC 94	+	Bacilos cortos espora inicial
	VC 95	-	Bacilos cortos espora central
	VC 96	-	Cocobacilos
	VC 97	+	Bacilos cortos y largos espora central
	VC 98	-	Bacilos cortos
	VC 99	+	Bacilos cortos

(+) = Positiva; (-) = Negativa; PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional

Cuadro 7. Morfologías macroscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo orgánico más estiércol bovino

Origen aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
Lixiviado	LO 29	Grande	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Rugosa	Elevada	Suave
	LO 22	Grande	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Rugosa	Elevada	Mucoide
	LO 1	Mediana	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
	LO 20	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	LO 28	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Blanca	Lisa	Plana	Suave
Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 55	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	IO 56	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Convexa	Suave
	IO 57	Mediana	Fusiforme	Entero	Transparente	B	-	Lisa	Convexa	Suave
	IO 58	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	IO 60	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	-	Lisa	Elevada	Suave
	IO 82	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Pulvinada	Mucoide
	IO 83	Pequeña	Fusiforme	Entero	Opaca	-	Amarilla	Rugosa	Plana	Suave
	IO 84	Puntiforme	Irregular	Rizado	Transparente	B	Amarilla	Rugosa	Plana	Suave

B = brillante; (-) = no aplica. LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 7.

Origen aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
Piel de <i>E. foetida</i>	PO 63	Grande	Irregular	Rizado	Transparente	B	-	Lisa	Plana	Suave
	PO 64	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide
	PO 68	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	PO 70	Mediana	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Amarillo claro	Lisa	Elevada	Mucoide
	PO 71	Grande	Irregular	Rizado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide
	PO 72	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Amarillo claro	Lisa	Elevada	Suave
	PO 73	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Plana	Suave
	PO 74	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Amarillo fuerte	Lisa	Elevada	Suave
	PO 75	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	PO 76	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	-	Lisa	Pulvinada	Mucoide
Vermicompost	VO 100	Mediana	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Dura
	VO 101	Mediana	Circular	Ondulado	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	VO 102	Mediana	Irregular	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	VO 103	Mediana	Circular	Irregular	Transparente	B	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
	VO 104	Grande	Irregular	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide

B = brillante; (-) = no aplica. PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 7.

Origen del aislado	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
	VO 105	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	-	Lisa	Elevada	Suave
	VO 106	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	-	Lisa	Plana	Suave
	VO 107	Grande	Irregular	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
Vermicompost	VO 108	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
	VO 109	Grande	Irregular	Lobulado	Transparente	B	Blanca	Lisa	Pulvinada	Mucoide
	VO 110	Grande	Irregular	Ondulado	Transparente	-	Blanca	Lisa	Convexa	Suave
	VO 111	Mediana	Irregular	Rizoide	Transparente	B	Blanca	Lisa	Plana	Mucoide
	VO 112	Mediana	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Convexa	Suave
	VO 113	Mediana	Irregular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Mucoide

B = brillante; (-) = no aplica; VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

Cuadro 8. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de vermicompostas con residuos de aguacate de manejo orgánico más estiércol bovino

Origen aislado	Aislado	Gram	Morfología microscópica
Lixiviado	LO 29	+	Bacilos cortos
	LO 22	+	Bacilos largos esporulados
	LO 1	+	Bacilos largos
	LO 20	+	Bacilos largos
	LO 28	+	Bacilos cortos
Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 55	-	Bacilos cortos
	IO 56	+	Bacilos
	IO 57	+	Bacilos cortos y esporas
	IO 58	-	Bacilos largos
	IO 60	-	Cocobacilos
	IO 82	+	Bacilos cortos esporulados
	IO 83	+	Bacilos largos
	IO 84	+	Bacilos largos
Piel de <i>E. foetida</i>	PO 63	+	Bacilos cortos esporas
	PO 64	+	Cocos
	PO 68	+	Cocobacilos

(+) = Positiva; (-) = Negativa. LO = lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* orgánica; PO = piel de *E. foetida* orgánica.

Continuación del Cuadro 8.

Origen del aislado	Aislado	Gram	Morfología microscópica
Piel de <i>E. foetida</i>	PO 70	-	Bacilos largos
	PO 71	+	Bacilos cortos esporas
	PO 72	-	Cocobacilos
	PO 73	-	Bacilos cortos
	PO 74	-	Cocobacilos
	PO 75	+	Bacilos cortos
	PO 76	+	Bacilos largos
Vermicompost	VO 100	+	Bacilos esporulados
	VO 101	+	Bacilos largos esporulados
	VO 102	+	Bacilos cortos esporulados
	VO 103	-	Bacilos con esporas
	VO 104	-	Bacilos cortos esporulados
	VO 105	+	Bacilos esporulados
	VO 106	+	bacilos esporulados
	VO 107	+	Bacilos cortos
	VO 108	+	Cocos
	VO 109	+	Bacilos cortos

(+) = Positiva; (-) = Negativa; PO = piel de *E. foetida* orgánica; VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 8.

Origen del aislado	Aislado	Gram	Morfología microscópica
Vermicompost	VO 110	-	Bacilos largos
	VO 111	-	Cocobacilos
	VO 112	-	Bacilos cortos
	VO 113	+	Bacilos largos con espora

(+) = Positiva; (-) = Negativa; VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.



Figura 14. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de lixiviado, intestino, piel y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico más estiércol bovino. a= LC 3, b = IC 62; c = P C 77; d = HC 91; e = LO 29; f = IO 57; g = PO 75 y h = HO 101.

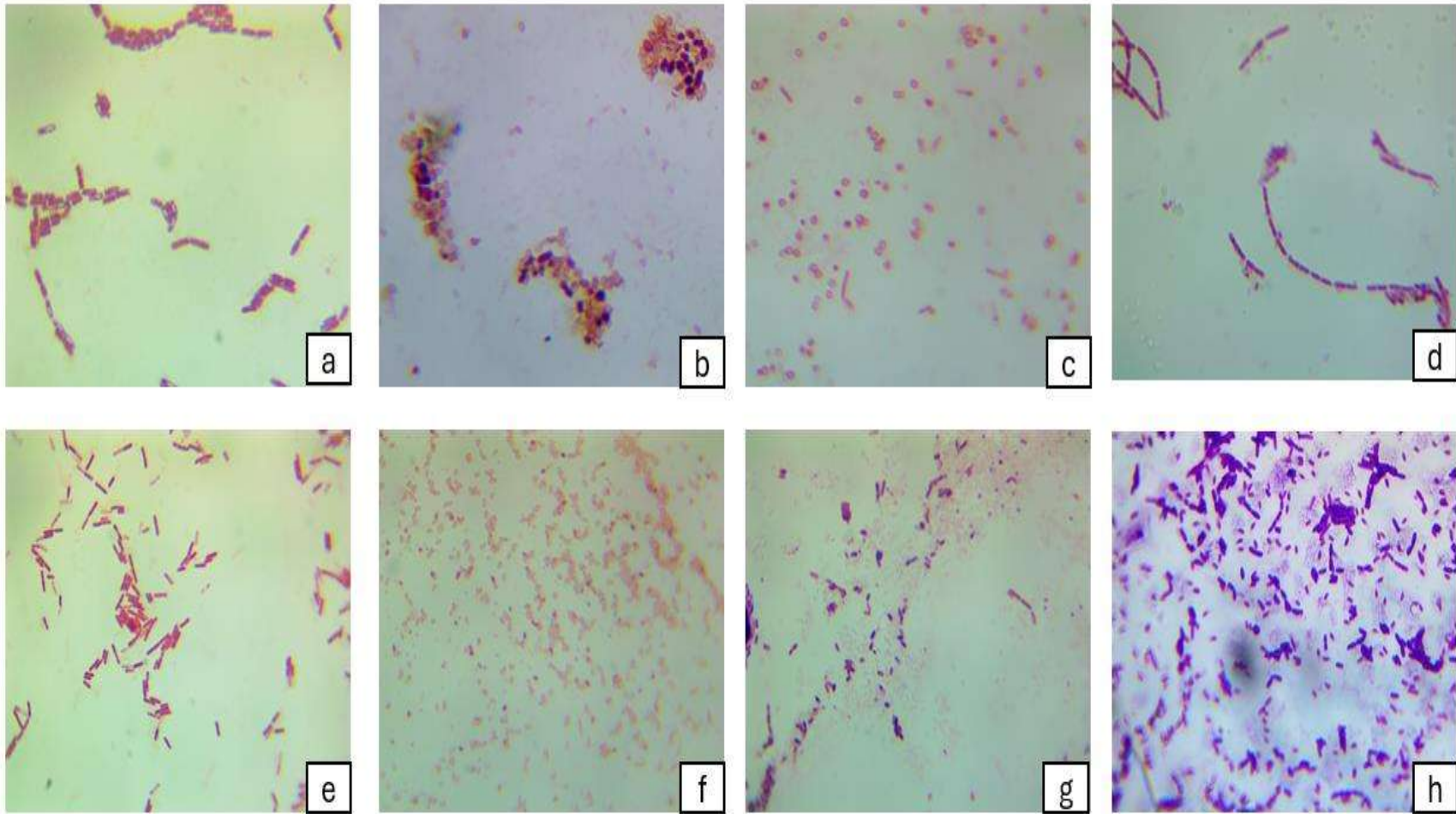


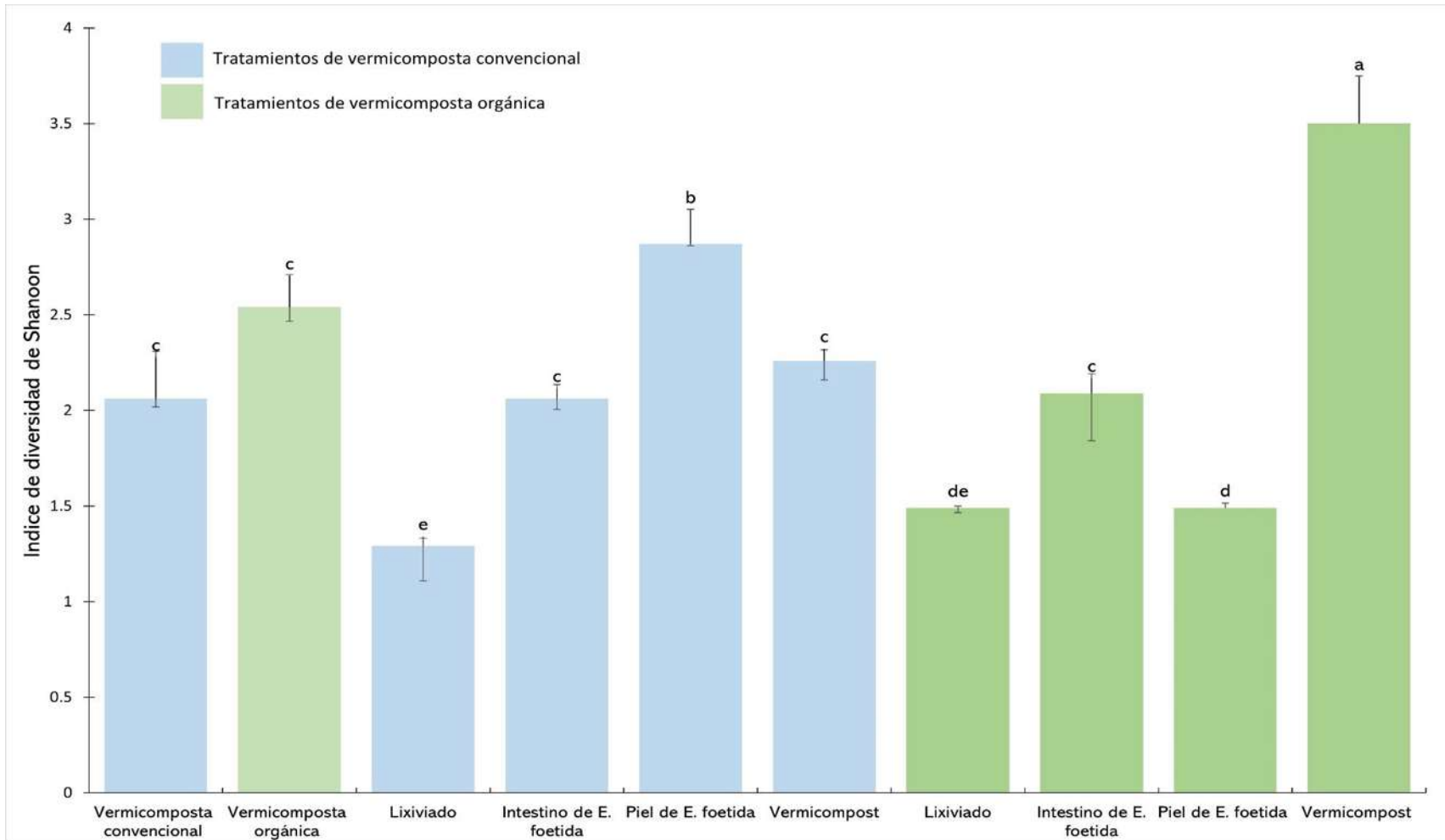
Figura 15. Morfología microscópica de un aislado bacteriano de lixiviado, intestino, piel y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico más estiércol bovino. a= LC 3; b = IC 62; c = PC 77; d = HC 91; e = LO 29; f = IO 57; g = PO 75 y h = HO 101.

Cuadro 9. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de las vermicompostas con residuos de diferente manejo agronómico.

Características de morfológicas	Lixiviado VC	Lixiviado VO	Intestino de <i>E.foetida</i> VC	Intestino de <i>E.foetida</i> VO	Piel de <i>E.foetida</i> VC	Piel de <i>E.foetida</i> VO	Vermicompost VC	Vermicompost VO
Tamaño	Grandes, pequeñas y medianas	Grandes, pequeñas y medianas	Medianas y grandes	Grandes y puntiformes	Pequeñas y puntiformes	Grandes	Grandes y puntiformes	Medianas y grandes
Forma	Irregulares	Rizoides	Irregulares y circulares	Fusiformes	Rizoides	Irregulares y circulares	Irregulares y circulares	rizoides
Borde	Enteros y ondulares	Enteros y rizoides	lobulado, ondulado y rizoides	ondulado y rizoides	Enteros, ondulados y rizoides	Enteros, ondulados y rizoides	Enteros, ondulados y rizoides	Enteros, ondulados, rizoides y lobulados
Transparencia	Opacas	Transparentes	Opacas	Opacas y transparentes	Opacas	Transparentes	Opacas y transparentes	Opacas y transparentes
Brillo	B	B y SB	B y SB	B y SB	SB	B	B	B y SB
Color	Blancas	Blancas	Blancas	Blancas y amarillas	Blancas amarillas y café claro	Blancas y amarillas	Blancas y amarillas claras	Blancas
Textura	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas
Elevación	Elevadas planas	Convexas	Convexas, elevadas, planas y pulvinadas	Convexas, elevadas, planas y pulvinadas	Elevadas	Pulvinadas	Convexas y elevadas	Elevadas y pulvinadas
Consistencia	Suaves y mucoides	Suaves y mucoides	Suaves y mucoides	Suaves y mucoides	Suaves, mucoides y duras	Suaves y mucoides	Suaves y mucoides	Suaves, mucoides y duras
Gram Positivas	5	4	8	5	8	6	5	9
Gram Negativas	-	1	1	3	4	4	5	5
Descripción de morfología microscópica	Bacilos largos, anchos y esporulados	Bacilos cortos, largos y anchos	Cocos, cocobacilos, bacilos largos, esporulados con espora central	Cocobacilos, bacilos largos y cortos esporulados	Cocos, bacilos largos y cortos con esporas central y final	Cocos, cocobacilos, bacilos cortos y esporulados	Cocobacilos, bacilos cortos, largos con espora central y final	Cocos, cocobacilos, bacilos cortos y largos esporulados

VC= Vermicomposta convencional; VO = vermicomposta orgánica; B = brillante; SB = sin brillo; (-) = no aplica

En la Fig. 16, se presenta el índice de diversidad de Shannon (IDS) de las bacterias aisladas de las vermicompostas con residuos de aguacate de diferente manejo agronómico; donde se observó que entre las vermicompostas de residuos de aguacate convencional y orgánico no hubo diferencia estadística ya que registraron entre 2.06 y 2.5 del IDS, mientras que los ambientes de VVO registró 3.5 de IDS, valor estadísticamente diferente al 2.26 de IDS del VVC; en tanto, PVC registró 2.87 de IDS, valor distinto y con diferencia estadística al 1.49 de PVO. Posteriormente en los ambientes de intestino y lixiviados que presentaron los IDS más bajos de ambas vermicompostas no tuvieron diferencia estadística. La literatura indica que un valor de IDS superior a 2 señala una alta diversidad (Pla, 2006), lo cual en esta investigación el valor más alto fue del VVO; esta diferencia posiblemente fue porque en la parcela orgánica de aguacate no se añaden agroquímicos de manera foliar, los cuales dañan la diversidad bacteriana que se puede encontrar en las hojas, ramas y frutos, y la diversidad bacteriana que poseían se alimentaron de la degradación del estiércol bovino para permanecer en el vermicompost. También cabe mencionar que a esta vermicomposta se le añadió hojas de aguacate frescas, lo cual, pudo influir en la diversidad bacteriana. Lo anterior concuerda con Budroni et al. (2020) quienes reportaron un IDS de 3.41 en bacterias en la vermicomposta elaborada con residuos vegetales de orujo más estiércol bovino, ellos mencionan que los residuos vegetales afectan el microbiota de *E. foetida*. Lo anterior demostró que las bacterias trabajan en conjunto con *E. foetida* para la degradación de la materia orgánica (Paco et al., 2011; Kapila et al., 2021).



Letras distintas sobre las barras indican diferencia significativa (Tukey $P < 0.05$). Barras de los rectángulos indican el error estándar.

Figura 16. Índice de diversidad bacteriana en lixiviados, piel, intestino y vermicompost de vermicompostas con residuos de aguacate de diferente manejo agronomico

7.1.5.2. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de las vermicompostas.

En los Cuadros 10 y 10.1, se presenta el porcentaje de germinación, longitud radical y peso total de las semillas de frijol y maíz germinados en vermicompost y lixiviados de las vermicompostas con residuos de aguacate con diferente manejo; en el caso del frijol registro un 42 % de germinación en el control sin aplicación de vermicompost ni lixiviados, valor sin diferencia estadística con el 34 % de germinación del frijol en vermicompost de vermicomposta organica (VVO), mientras en los tratamientos de los lixiviados de ambas vermicompostas la germinación fue inferior al 20 % por lo mismo no se presentaron datos de longitud radical (LR); y el peso total (PT) de las semillas germinadas en el control fue de 1.59 g valor sin diferencia estadística con 1.40 g del PT en VVO. Mientras en el jitomate en el tratamiento de VVO registró 96 % de germinación, 4.6 cm de LR y 0.054 g de PT, valores sin diferencia estadística con 86 % de germinación, 5 cm de LR y 0.056 g de PT del tratamiento con vermicompost de vermicomposta convencional (VVC) y con el 90 % de germinación del control sin aplicación de vermicompost ni lixiviado. El tratamiento de lixiviado de vermicomposta organica (LVO) al 25 % registró 4.08 cm de LR, valor con diferencia estadística con 2.96 cm de LR del lixiviado de vermicomposta convencional (LVC) al 25 %, por lo tanto, en los tratamientos de los lixiviados de ambas vermicompostas al 100, 50 y 25 % en PT hubo datos con diferencia estadística inferiores al 0.037 g. En tanto en el Cuadro 9.1, se presenta el porcentaje de germinación, LR y PT de las semillas de trigo y maíz germinadas en el vermicompost y lixiviados de ambas vermicompostas; en el porcentaje de germinación del trigo en el control se presentó un 86 %, este dato no es estadísticamente diferente al 88 % de germinación del tratamiento LVC al 25 %, 86 % de germinación del LVO al 25 % y 82 % de germinación del VVO, pero si presentan diferencia estadística con el 56 % de germinación del VVC, mientras en los tratamientos del LVC al 50 % junto al LVC y LVO al 100 % presentaron un % de germinación inferior al 74 %. Mientras en la LR en los tratamientos VVO y VVC registraron 10.7 cm y 11.4 cm valores con diferencia estadística al 2.84 cm, 1.1 cm y 7.98 cm de los tratamientos LVO al 50, 100 y 25 % y con los 3.9 cm, 1.8 cm 6.56 cm de los LVC al 50, 100 y 25 % junto con el 3.13 cm de LR del control. En el PT del trigo en VVO registró 0.20 g valor con diferencia estadística en los tratamientos con VVC y lixiviados en las distintas concentraciones (50, 100 y 25 %).

En el caso del maíz en el porcentaje de germinación registro una respuesta positiva en los tratamientos con los lixiviados de ambas vermicompostas en las distintas concentraciones donde registró de un 94 % de germinación junto con el control, estos valores fueron estadísticamente diferentes al 76 % de germinación de los tratamientos con vermicompost. En tanto en la LR en el tratamiento LVC al 25 % registró 17.32 cm, seguido LVO al 25 % con 17.24 cm y el 14.1 cm del VVO valores con diferencia estadística con 7.62 cm de VVC, 7.48 cm del LVO al 50%, 4.54 cm del LVO al 100 %, 6.78 cm del LVC al 100 % y 14.8 cm del control. Posteriormente en PT del tratamiento VVC registro 1.32 g, valor con diferencia estadística con los datos de LVC y LVO al 100 % y control que registraron valores inferiores al 0.90 g.

Cuadro 10. Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados de aguacate orgánico y convencional en semillas de frijol, jitomate.

Tratamientos	Frijol			Jitomate		
	PG (%)	LR (cm)	PT (g)	PG (%)	LR (cm)	PT (g)
VVO	34 ^a	-	1.40 ^a	96 ^a	4.6 ^a	0.054 ^a
VVC	20 ^b	-	1.19 ^{ab}	86 ^{sb}	5 ^a	0.056 ^a
LVO 50%	4 ^d	-	0.99 ^b	46 ^c	2.4 ^c	0.028 ^b
LVO 100 %	12 ^c	-	1.03 ^b	2 ^d	-	-
LVO 25 %	4 ^d	-	1.02 ^b	80 ^b	4.8 ^a	0.037 ^b
LVC 50 %	10 ^c	-	1.14 ^{ab}	2 ^d	-	-
LVC 100 %	-	-	-	-	-	-
LVC 25 %	12 ^c	-	1.02 ^b	38 ^c	2.96 ^b	0.021 ^c
Control	42 ^a	-	1.59 ^a	90 ^{ab}	4 ^b	0.031 ^b

Medias con letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). VVO = vermicompost de vermicomposta orgánica; VVC = vermicompost de vermicomposta convencional; LVC 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta convencional; LVO 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta orgánica. PG = porcentaje de germinación; LR = longitud radical y PT = peso total.

Cuadro 10.1. Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados de aguacate orgánico y convencional en semillas de trigo y maíz.

Tratamientos	Trigo			Maíz		
	PG (%)	LR (cm)	PT (g)	PG (%)	LR (cm)	PT (g)
VVO	82 ^a	10.7 ^a	0.20 ^a	76 ^b	14.1 ^{ab}	1.16 ^{ab}
VVC	56 ^{bc}	11.4 ^a	0.16 ^{bc}	76 ^b	7.62 ^c	1.32 ^a
LVO 50 %	80 ^{ab}	2.84 ^{cd}	0.13 ^c	100 ^a	7.48 ^c	0.88 ^{ab}
LVO 100 %	64 ^{bc}	1.1 ^d	0.10 ^d	98 ^a	4.54 ^c	0.81 ^c
LVO 25 %	86 ^a	7.98 ^b	0.16 ^{bc}	94 ^{ab}	17.24 ^a	0.88 ^{ab}
LVC 50 %	74 ^b	3.9 ^c	0.11 ^c	96 ^a	12.62 ^b	0.83 ^c
LVC 100 %	48 ^c	1.8 ^{cd}	0.09 ^d	98 ^a	6.78 ^c	0.79 ^c
LVC 25 %	88 ^a	6.56 ^b	0.17 ^b	98 ^a	17.32 ^a	0.83 ^c
Control	86 ^a	3.13 ^{cd}	0.16 ^{bc}	94 ^{ab}	14.8 ^b	0.89 ^{bc}

Medias con letras distintas sobre las barras indican diferencia significativa (Tukey P <0.05) VVO = vermicompost de vermicomposta orgánica; VVC = vermicompost de vermicomposta convencional; LVC 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta convencional; LVO 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta orgánica. PG = porcentaje de germinación; LR = longitud radical y PT = peso total.

Los resultados anteriores muestran que el vermicompost y lixiviados no poseen fitotoxicidad por los residuos de diferente manejo agronómico que se le añadieron a las vermicompostas, pero si pueden incrementar el porcentaje de germinación, LR y PT de las semillas por el aporte de nutrientes y microorganismos benéficos que se encuentren en el vermicompost y lixiviados para el crecimiento vegetal (Domínguez *et al.*, 2010). En el Cuadro 11, se muestran los valores de pH y CE del vermicompost y lixiviados a distintas concentraciones. En el caso de los vermicompost de ambas vermicompostas poseen un pH neutro, mientras en la CE se registró de 4.12 dSm⁻¹ de VVC y 4.16 dSm⁻¹ de VVO, del modo que los lixiviados de ambas vermicompostas a las diferentes concentraciones obtuvieron un pH más alcalino y en la CE al 100 % registraron 6 dS/m⁻¹, al 50 % 4.19 y 4.43 Ds/m⁻¹, al 25 % 2.19 6 dS/m⁻¹ y 2.43 6 dS/m⁻¹, de tal manera que mientras más diluidos estén menor será la CE.

Cuadro 11. Mediciones de pH y conductividad eléctrica de los vermicompost y lixiviados.

Tratamientos	pH	Conductividad eléctrica (CE) dS/m
VVO	7.12	4.16
VVC	7.15	4.12
LVO 50%	8.28	4.19
LVO 100 %	8.44	6
LVO 25 %	8.19	2.19
LVC 50 %	8.12	4.83
LVC 100 %	8.66	6
LVC 25 %	8.10	2.43

Letras distintas sobre las barras indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). VVO = vermicompost de vermicomposta orgánica; VVC = vermicompost de vermicomposta convencional; LVC 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta convencional; LVO 100, 50 y 25 % = lixiviado de vermicomposta orgánica.

Los datos anteriores influyeron en la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados ya que en la norma NMX-FF-109-SCFI-2008, indica que para aplicar los productos de las vermicompostas en los cultivos el valor máximo de pH es 8 y de conductividad eléctrica igual o menor a 4 dS/m⁻¹. En tanto en la Fig. 17, se puede observar que el maíz fue la única especie vegetal donde el lixiviado al 100% y 50 % no causó inhibición de germinación, lo anterior indico que esta especie es resistente a altas concentraciones de CE, pH alcalinos, ácidos húmicos, fúlvicos y sales (Méndez-Moreno *et al.*, 2012).

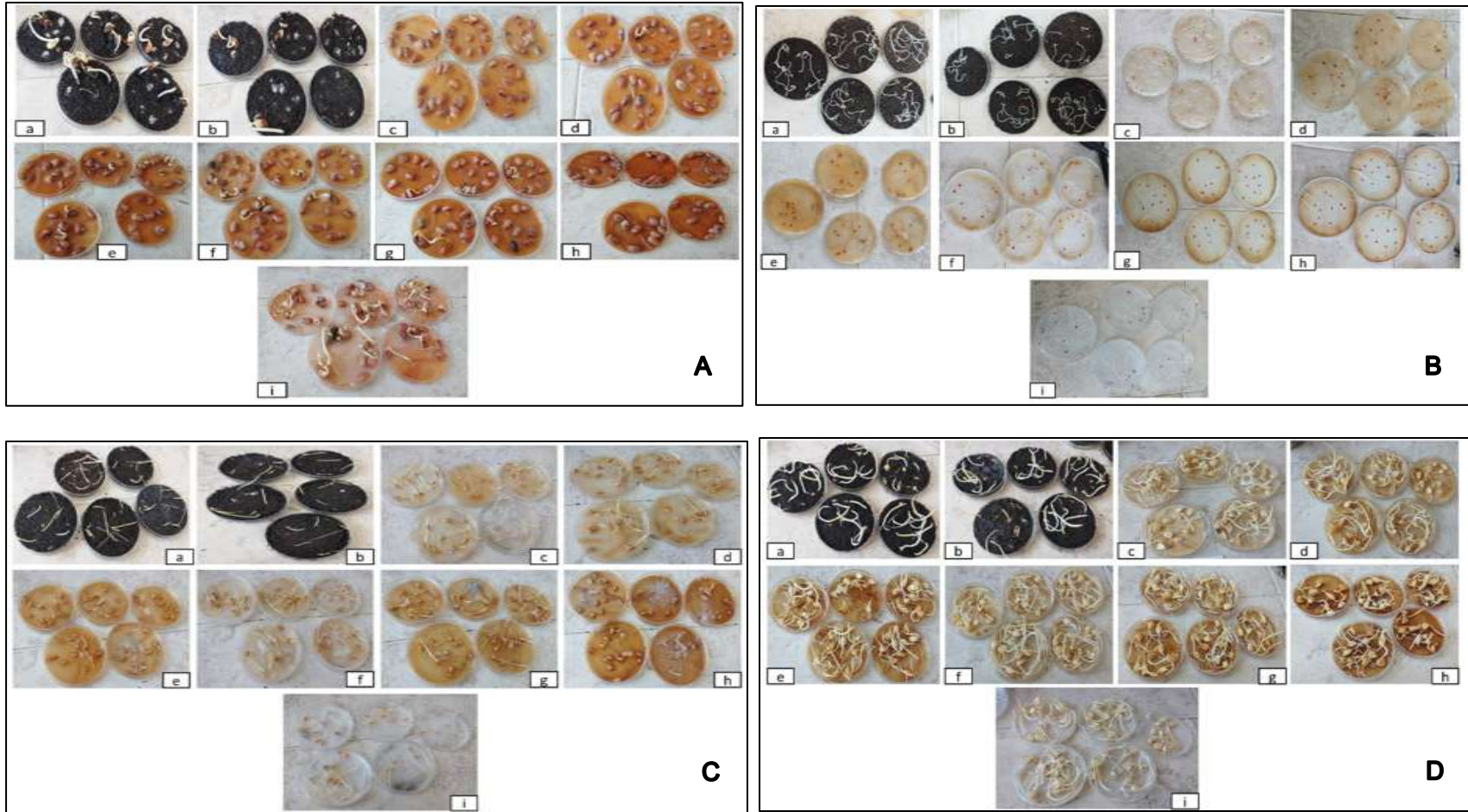


Figura. 17. Evaluación de la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados de residuos de aguacate orgánico y convencional en frijol (A), jitomate (B), Trigo (C) y maíz (D). a= vermicomposta de aguacate orgánico (VAO); b= vermicomposta de aguacate convencional (VAC); c= lixiviado de vermicomposta orgánica (LVO) al 25 %; d= LVO al 50 %; e= LVO al 100 %; f= lixiviado de vermicomposta convencional (LVC) al 25 %; g= LVC al 50 %; h= LVC al 100 %; i= control.

7.1.5.3. Variables físico químicas evaluadas en lixiviados

En el Cuadro 12 se mostró los análisis de la concentración de NO_3^- ppm de los lixiviados, donde en la vermicomposta control y LVC registraron mayor concentración de NO_3^- , comparado estadísticamente con los de la LVO; en los lixiviados de la lombricomposta control de 3 semanas aumentó 100 ppm ppm de NO_3^- a las 10 semanas de elaboración; mientras el LVC aumentó 56 ppm de NO_3^- a las 10 semanas, mientras el LVO bajo 1 ppm de NO_3^- a las 10 semanas de elaboración. Lo anterior indicó que los residuos de *P. americana* no influyen en el contenido de NO_3^- del lixiviado. Existe escasa literatura donde mencionen los NO_3^- contenidos en los lixiviados de lombricompostas, pero en el trabajo de Jaramillo y Muñoz, (2018) registraron 978 ppm de NO_3^- en lixiviado de vermicomposta de estiércol bovino y en conductividad eléctrica del lixiviado reportaron 11.05 dS/m. En esta investigación los lixiviados presentaron una conductividad eléctrica de 6.00 dS/m y un pH mayor de 8.0 el cual es optimo para la realización del asilamiento de bacterias según lo mencionado por De la Mora-Covarrubias et al. (2016).

Cuadro 12. Mediciones de NO_3^- de los lixiviados de vermicompostas de residuos de *Persea americana* de parcelas convencionales y orgánicas con estiércol bovino de 3 y 10 semanas de elaboración

Tratamientos Vermicompostas	NO_3^- Ppm 3 semanas	NO_3^- Ppm 10 semanas
Lixiviado de vermicomposta de solo estiércol bovino (control)	571 ^a	671.5 ^a
Lixiviado de vermicomposta residuos de aguacate Convencional + estiércol bovino (LVC)	554.37 ^{ab}	610.62 ^{ab}
Lixiviado de vermicomposta de residuos de aguacate orgánico + estiércol bovino (LVO)	483.12 ^b	482.12 ^b

n= 6 **letras indican diferencia estadística por ANOVA Tukey $P < 0.05$ 3 semanas; Kruskal wallis $P < 0.05$ 10 semanas

En la Figura 18, el lixiviado de la vermicomposta de residuos de aguacate convencionales con estiércol bovino, presentó un color marrón fuerte que de acuerdo con la tabla de colores Munsell 5YR 3/4 sería marrón oscuro a las tres y diez semanas de elaboración respectivamente, que, de acuerdo con Stevenson, (1982), estos colores indicarían la presencia de huminas y ácidos húmicos. El lixiviado de vermicomposta de residuos de aguacate orgánico de tres se clasificó en 7.5YR 4/6 con el color marrón amarillento y a las diez semanas se clasificó en 7.5YR 6/8 con el color amarillo parduzco; mientras en el lixiviado de la vermicomposta control sin añadir residuos de aguacate a las tres semanas registro 10YR 5/6 que indica el color marrón amarillento y a las diez semanas registró 7.5YR 4/2 que es marrón castaño y que de acuerdo con Stevenson (1982), estos pigmentos contienen ácidos fúlvicos. Las coloraciones marrones oscuros se debieron al estado de precomposteo de los residuos vegetales; ya que en la Fig. 10, se puede observar que los residuos de aguacate de manejo convencional poseen una coloración de café fuerte a oscuro, mientras que los residuos de aguacate de manejo orgánico presentan una coloración de café claro a amarillas.

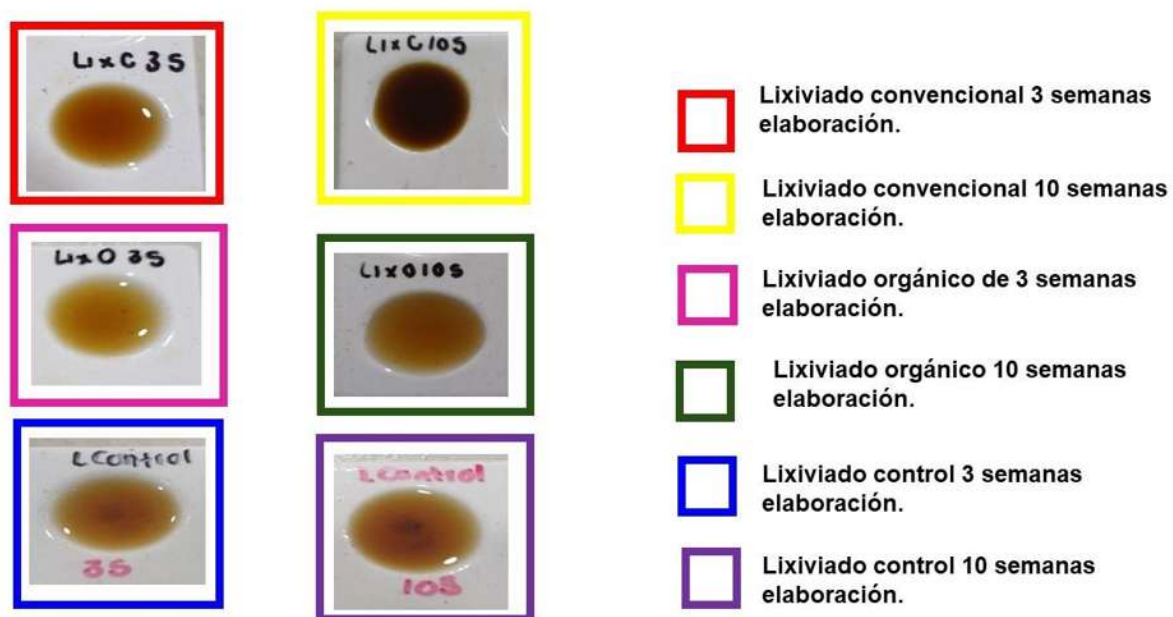


Figura 18. Colores de los lixiviados colectados a las tres y diez semanas de elaboración de las vermicompostas.

7.1.6. Conclusiones

En esta investigación se logró aislar bacterias del intestino, piel de *E. foieida* así como lixiviados y vermicompost de vermicompostas elaboradas con residuos de aguacate de manejo convencional y orgánico, estos residuos añadidos a las vermicompostas no determinan la dominancia de una sola característica de las morfologías macroscópicas y microscópicas de las bacterias y se encontró una mayor diversidad bacteriana en el vermicompost de la vermicomposta elaborada con residuos de aguacate orgánico. En el caso de la fitotoxicidad del lixiviado y vermicompost de ambas vermicompostas, no influyen los residuos vegetales de distinto manejo agronómico, lo que genera la fitotoxicidad es el concentrado del lixiviado al 100 y 50 % por la elevada conductividad eléctrica que supera a lo registrado en la NMX-FF-109-SCFI-2008 y sin diluir perjudican la germinación de frijol, jitomate y trigo; también se observó que las coloraciones y el contenido de huminas y ácidos fúlvicos de los lixiviados dependen del tiempo del proceso de precomposteo de los residuos vegetales que se les apliquen a las vermicompostas. Por lo anterior es necesario que antes de aplicar lixiviados y vermicompost a los cultivos es importante realizar las pruebas anteriores para evitar daños a las plantas.

7.1.7. Literatura citada

- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural science*. 3. (7): 905-917.
- Alcarráz Curi, M., Heredia Jiménez, V., & Julian Ibarra, J. P. (2019). Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del *crecimiento* vegetal aisladas de la rizosfera de *Coffea* spp. en Pichanaqui, Perú. *Bioteología Vegetal*. 19(4), 285-295.
- Bamidele, J. A. (2014). Diversidad microbiana y actividad de enzimas digestivas en el intestino de las lombrices de tierra en los aserraderos de Abeokuta, Nigeria. *Revista de Biología Tropical*, 62(3), 1241-1249.
- Budroni, M., Mannazzu, I., Zara, S., Saba, S., Pais, A., & Zara, G. (2020). Composition and functional profiling of the microbiota in the casts of *Eisenia fetida* during vermicomposting of brewers' spent grains. *Biotechnology reports*, 25, e00439.

- De la Mora-Covarrubias, A., Vázquez-González, F. J., & Valero-Galván, J. (2016). Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *Tecnociencia Chihuahua*. 10(1): 23-31.
- del Pozo, y. M., Alvarez, M. E. D., & León, E. E. V. (2008). Determinación de algunas propiedades físico-mecánicas, químicas y biológicas del humus de lombriz en condiciones de la vaquería de la finca Guayabal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 17(1): 27-30.
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas: Aportes para la elaboración de un concepto. *Acta zoológica mexicana*. 26(SPE2): 359-371.
- Ferruzzi, C. 1987. Manual de Lombricultura. Ed Mundi-prensa. Madrid, España. pp: 138.
- Jaramillo y Muñoz (2018). Diseño, construcción y automatización de un extractor de lixiviados a partir de humus de lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de ciencias pecuarias. Tesis para obtener el título de ingeniería zootecnista. URL: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8790/1/17T1553.pdf>
- Kapila, R., Verma, G., Sen, A., & Nigam, A. (2021). Evaluation of microbiological quality of vermicompost prepared from different types of organic wastes using *Eisenia foetida*. *Agricultural Science Digest-A Research Journal*, 41(3), 445-449.
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(6): 1143-1156
- Méndez-Moreno, O., León-Martínez, N. S., Gutiérrez-Miceli, F. A., Rincón-Rosales, R., & Álvarez-Solís, J. D. (2012). Efecto de la aplicación de humus de lombriz en el crecimiento y rendimiento de grano del cultivo de maíz. *Gayana Bot*, 69, 49-54.
- Morales-Munguía, J. C., Fernández-Ramírez, M. V., Montiel-Cota, A., & Peralta-Beltrán, B. C. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *Biotecnia*. 11(1): 19- 26.

- Nava-Pérez, E., Valenzuela-Quiñónez, W., & Rodríguez-Quiroz, G. (2019). El vermicompost como sustrato sustituto en la germinación de tomate. *Agrociencia*. 53(6): 869-880
- Paco, G., Loza-Murguía, M., Mamani, F., & Sainz, H. (2011). Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 2(2): 24-39.
- Pineda, J.A. 2006. Lombricultura. UAP-PASOLAC-Honduras Feliciano Paz. Litografía LÓPEZ, S. de R. L.
- Schuldt, M., Christiansen, R., Scatturice, L. A., & Mayo, J. P. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*. 8(8). 1-10.
- Stevenson F.J. (1982). *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*. Willey Intersciencie New York. ISBN-0-47-59474-1
- Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., Díaz-de Armas, M. M., & Carrillo-Sosa, Y. (2022). Efecto del vermicompost sobre la productividad biológica y agrícola del cultivo de la col (*Brassica oleracea* L.). *Cultivos Tropicales*, 43(3), 1-7.
- Samaniego-Gaxiola, J. A., & Chew-Madinaveitia, Y. (2007). Diversidad de géneros de hongos del suelo en tres campos con diferente condición agrícola en La Laguna, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2), 383-390.
- Satpathy, J., Saha, M. H., Mishra, A. S., & Mishra, S. K. (2020). Characterization of bacterial isolates in vermicompost produced from a mixture of cow dung, straw, Neem leaf and vegetable wastes. *bioRxiv*, 2020-07.
- Owa, S. O., Olowoparija, S. B., Aladesida, A., & Dedeké, G. A. (2013). Enteric bacteria and fungi of the Eudrilid earthworm *Libyodrilus violaceus*. *African Journal of Agricultural Research*, 8(17), 1760-1766.
- Yagüe, J. L. F. (1987). La crianza de la lombriz roja. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Capítulo 7.2. Diversidad de bacterias en suelos cultivados con aguacate (*Persea americana*), con manejo diferente manejo agronómico

7.2.1. Resumen

La diversidad bacteriana de los suelos agrícolas depende del manejo agronómico del sistema de producción utilizado por los agricultores. En el manejo agronómico convencional (MAC), se aplican elevadas dosis de agroquímicos como fungicidas y bactericidas que perjudican a la fertilidad biológica del suelo y disminuyen las poblaciones bacterianas presentes en la rizosfera, las cuales también pueden influir en la sanidad de los árboles. Por su parte, en el manejo agronómico orgánico (MAO), es nula la aplicación de agroquímicos y optan por la aplicación de enmiendas orgánicas, las cuales poseen gran cantidad de bacterias benéficas para el mantenimiento del suelo y los cultivos. Por lo anterior, en esta investigación se tuvieron como objetivos: realizar el aislamiento de bacterias de árboles sanos y enfermos de aguacate con MAC y MAO; describir las diferencias de morfologías macroscópicas y microscópicas; y analizar la diversidad de bacterias mediante el índice de Shannon (IDS). Se colectó suelo rizosférico de árboles de aguacate parcelas de aguacate de MAC y MAO, de la zona aguacatera de Michoacán. Una muestra de suelo se caracterizó fisicoquímicamente y de otra se realizó el aislamiento y caracterización morfológica macro y microscópica y finalmente se determinó el IDS. Como resultados en total se obtuvieron 15 aislados bacterianos del MAC y 20 del MAO, donde el manejo agronómico no influyó en las características morfológicas, pero si existieron diferencias entre los aislados de árboles sanos y enfermos de distinto manejo. Por otro lado, el IDS fue de 2.44 en el MAO, valor superior al 1.75 del IDS del MAC, y entre la sanidad de los árboles se encontró variabilidad morfológica entre MAC y MAO, pero no hubo efecto sobre el IDS en árboles enfermos o sanos. Lo anterior mostró que la sanidad de los árboles modifica las morfologías de las bacterias independientemente del MAC y MAO y que la diversidad bacteriana es determinada por el manejo agronómico.

Palabras clave: índice de diversidad, morfologías, manejo convencional y orgánico, sanidad del árbol.

7.2.2. Abstract

The bacterial diversity of agricultural soils depends on the agronomic management of the production system used by farmers. In conventional agronomic management (CAM), high doses of agrochemicals such as fungicides and bactericides are applied, which damage the biological fertility of the soil and reduce the bacterial populations present in the rhizosphere, which can also influence the health of the trees. On the other hand, in organic agronomic management (OAM), the application of agrochemicals is null and they opt for the application of organic amendments, which have a large amount of beneficial bacteria for the maintenance of the soil and crops. Therefore, the objectives of this research were: to isolate bacteria from healthy and diseased avocado trees with CAM and OAM; to describe the differences in macroscopic and microscopic morphologies; and to analyze the diversity of bacteria by means of Shannon's index (SDI). Rhizospheric soil was collected from avocado trees in avocado plots of CAM and OAM, in the avocado-growing zone of Michoacán. One soil sample was characterized physicochemically and another was isolated and characterized morphologically, macro and microscopically, and finally the SDI was determined. A total of 15 bacterial isolates were obtained from CAM and 20 from OAM, where agronomic management did not influence the morphological characteristics, but there were differences between isolates from healthy and diseased trees of different management. On the other hand, the SDI was 2.44 in the OAM, a value higher than the 1.75 SDI of the CAM, and morphological variability was found between CAM and OAM, but there was no effect on the SDI in healthy or diseased trees. This showed that tree health modifies bacterial morphologies independently of CAM and OAM and that bacterial diversity is determined by agronomic management.

Key words: diversity index, morphologies, conventional and organic management, tree health.

7.2.3. Introducción

En los suelos agrícolas, se encuentra una gran diversidad de bacterias y la cantidad de éstas depende de distintas condiciones edafoclimáticas, pero principalmente del manejo agronómico que se le da a la parcela. Entre los manejos agrícolas convencional (MAC) y orgánico (MAO), existen grandes diferencias entre los distintos factores que regulan la diversidad de bacterias del suelo, entre estos se tienen distintas concentraciones nutrimentales

de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, parámetros edáficos como la textura, estructura, humedad, pH, aplicaciones de agroquímicos entre muchos otros (Skinner *et al.*, 2019; Sylvia *et al.*, 2020). En el MAC, se suele aplicar elevadas dosis de agroquímicos (fungicidas y bactericidas), esto perjudica la fertilidad biológica del mismo ya que merman las poblaciones bacterianas presentes en la rizosfera; las cuales intervienen en diferentes procesos naturales, como el reciclaje de nutrientes, el balance de carbono en el suelo, la transformación de productos orgánicos en inorgánicos, la sanidad de las plantas, entre otras (Hartmann *et al.*, 2015). Por su parte, en el MAO, se eliminan los agroquímicos y optan por aplicaciones de enmiendas orgánicas como estiércoles de distintos orígenes, compostas, vermicompost, lixiviados, etc.; los cuales, poseen gran cantidad de bacterias benéficas para el mantenimiento del suelo y los cultivos. También utilizan biofertilizantes formulados con microorganismos de géneros y especies de bacterias u hongos, que promueven el crecimiento vegetal por medio de mecanismos como fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes, los cuales tienen un impacto amigable para el medio ambiente (Fawzy *et al.*, 2016). Existen investigaciones donde ya han evaluado la diversidad de bacterias de suelos de cultivos con manejo convencional y orgánico. Acharya *et al.* (2021), estudiaron suelos de pastos orgánicos, donde encontraron mayor riqueza de diversidad bacteriana con un índice de diversidad de Shannon de 6.5; también mencionaron que el contenido de los nutrientes como hierro, magnesio, carbono y nitrógeno se correlacionó con la diversidad bacteriana. Ellos dedujeron que el manejo de los suelos afecta la diversidad de las bacterias debido a las aplicaciones de estiércoles y compostas. Rachwal *et al.* (2021), analizaron muestras de suelo rizosférico con manejo convencional y orgánico de cultivos de Zanahoria (*Daucus carota*), para determinar la diversidad de bacterias; ellos encontraron $11,04 \times 10^7$ unidades formadoras de colonias (UFC) en los suelos de manejo orgánico, valor estadísticamente diferente a $3,6 \times 10^7$ UFC de los suelos con manejo convencional, ellos concluyeron que el pH neutro de los suelos con manejo orgánico reflejó un aumento de bacterias. Bebber y Richards (2022), analizaron suelos con fertilización química con nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y suelos orgánicos, encontrando una diversidad bacteriana del 7 % mayor en suelos orgánicos, valor estadísticamente diferente al 2.8 % de la diversidad bacteriana encontrada en los suelos con fertilización con NPK. Ellos mencionan que se requiere de varias investigaciones para poder

comprender la influencia de los fertilizantes en la diversidad bacteriana tanto como en la función del ecosistema.

Por lo anterior, los objetivos de la investigación fueron: realizar el aislamiento de bacterias de árboles sanos y enfermos de aguacate con MAC y MAO; describir las diferencias de morfologías macroscópicas y microscópicas y, analizar la diversidad de bacterias mediante el índice de Shannon de suelos con MAC y MAO, así como entre árboles sanos y enfermos. Se espera que exista una mayor diversidad bacteriana en suelos de parcelas de aguacate con manejo orgánico y que la sanidad de los árboles modifica la morfología y la diversidad de bacterias.

7.2.4. Materiales y métodos

7.2.4.1. Áreas de estudio

Las parcelas de aguacate (*Persea americana*), con manejo convencional se localizaron en Tingambato Michoacán. Se identificaron como “El Zapote” (19.598261, - 101.870625) y “La Tira” (19.597336, - 101.868730). En esta región tiene una temperatura de máxima 26°C y mínima de 12°C con humedad del 70 %. En estas parcelas regulan el pH con aplicaciones de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , aplican nitrógeno en forma de urea, fertilizantes foliares a razón de 20:30:10 (N:P:K), usan insecticidas y fungicidas. Mientras las parcelas de manejo orgánico se ubicaron en Acuitzio del Canje en la Finca Agroecológica “Llanitos” con los nombres de “La Escondida” y “San Antonio” con coordenadas (19.434004, - 101.277925 en estas parcelas orgánicas regulan el pH con dolomita, aplican tierra de diatomeas, estiércol de bovinos de engorda, roca fosfórica 25 y 28 % de ceolita, y vermicompost.

7.2.4.2. Muestreo de suelo

El muestreo se realizó en época de lluvias y de cada parcela se eligieron dos árboles con buena sanidad y con rendimiento alto y dos árboles enfermos con rendimiento bajo (Fig. 19). De cada árbol, se tomó suelo de la zona de goteo y rizosférico; las muestras se mezclaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta de cada árbol. Las muestras de suelo se pusieron en bolsa de plástico y se transportaron al laboratorio de Ecofisiología vegetal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para su procesamiento. Posteriormente se mandaron al laboratorio

de suelos del INIFAP campus Celaya Guanajuato para la caracterización fisicoquímica (Cuadro 13).

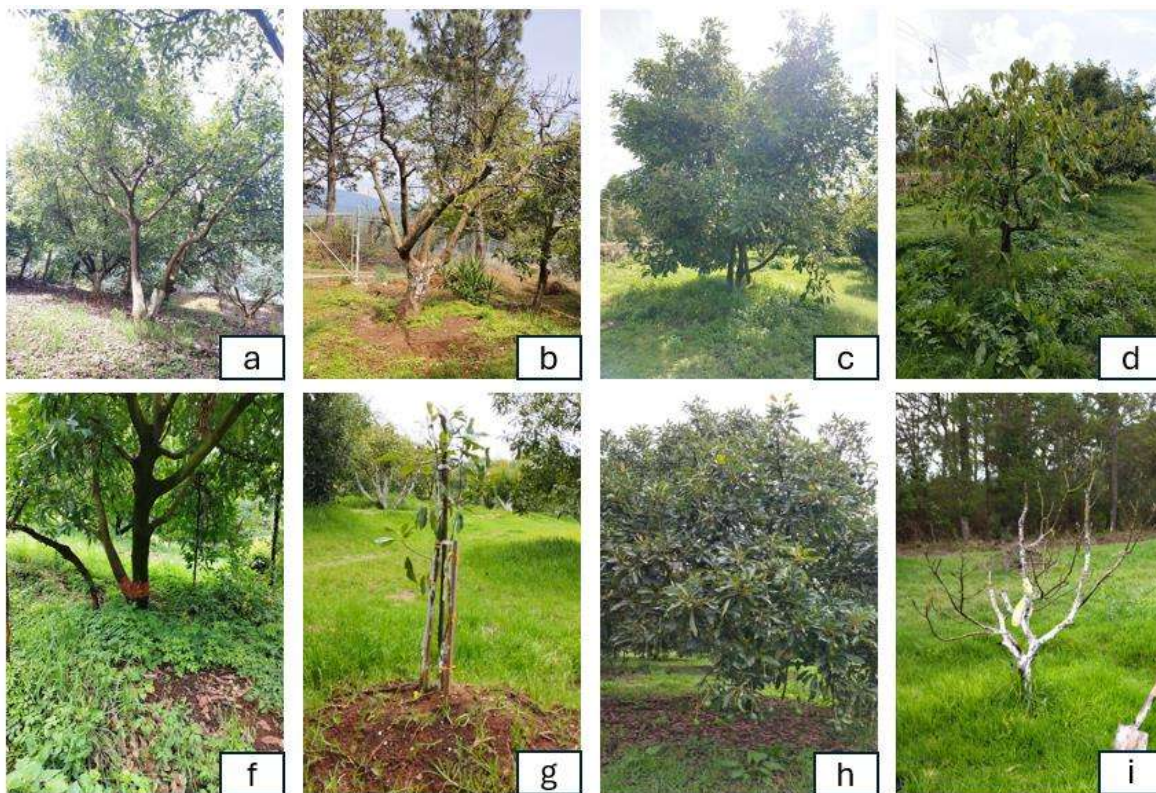


Figura 19. Arboles sanos y enfermos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico. a = árbol sano y b = árbol enfermo de parcela convencional “El Zapote; c = árbol sano y d = árbol enfermo de la parcela convencional “La Tira”; f = árbol sano y g = árbol enfermo de la parcela orgánica “La Escondida”; h = árbol sano e i = árbol enfermo de parcela orgánica “San Antonio”.

Cuadro 13. Propiedades fisicoquímicas de los suelos de parcelas de *P. americana* convencional y orgánicas.

Parámetros Físicoquímicos	Parcela convencional El Zapote	Parcela convencional La Tira	Parcela orgánica La Escondida	Parcela orgánica San Antonio
Clase textural	Franco arenoso	Arcilloso	Franco arenoso	Franco arenoso
pH	5.5	5.78	7.12	7.04
Materia orgánica %	6.4	5.50	9.81	10.64
Nitrógeno inorgánico (ppm)	121.69	117.57	110.01	102.44
Fósforo (ppm)	35.55	302.88	263.05	398.75
Potasio (ppm)	2,289	1,365	2,535	300.10
Calcio (ppm)	2,387	1,506	3,680	3,696
Magnesio (ppm)	793.50	585	1,621	1,774
Sodio (ppm)	28.12	18.38	230	300
Hierro (ppm)	56.36	73.27	51	60.95
Zinc (ppm)	7.46	16.16	53.33	78.28
Manganeso (ppm)	38.80	46.10	79.18	38.50
Cobre (ppm)	25.62	15.41	39.96	41.66

El análisis completo se presenta en el Anexo 1.

7.2.4.3. Aislamiento de bacterias

Se elaboró una mezcla de la muestra de suelos rizosférico y zona de la zona de goteo de los árboles sanos y otra de los enfermos de cada parcela por tipo de manejo. Se elaboraron diluciones seriadas hasta 10^6 con un gramo de muestra en 9 mL de agua desionizada estéril, posteriormente se inocularon las diluciones en cajas Petri con agar nutritivo por barrido en placa con asa Digralsky y se incubaron a 32 °C por 36 h. Se seleccionaron colonias que presentaban diferencias morfológicas y se purificaron (Muñoz *et al.*, 2018).

7.2.4.4. Descripción de morfología macroscópica y microscópica de los aislados bacterianos

Pasado el tiempo de incubación, se observó la diversidad de colonias bacterianas y se purificaron. Después de describió la morfología macroscópica (tamaño, forma, borde, transparencia, brillo, color, textura, elevación, consistencia) y para cada bacteria se realizó tinción Gram con un kit de tinción diferencial de bacterias HYCEL para observar la morfología microscópica (Alcarraz *et al.*, 2019).

7.2.4.5. Determinación del índice de diversidad de los aislados bacterianos

Para determinar la diversidad de bacterias aisladas de los distintos ambientes se determinó el índice de diversidad de Shannon (IDS) (Samaniego-Gaxiola *et al.*, 2007) con la siguiente fórmula:

$$H' = \sum_{i=1} (p_i) (\ln p_i)$$

H' = índice de diversidad de Shannon

\sum = sumatoria de los datos entre el total de datos, el resultado debe ser 1.

p_i = proporción del número total de individuos en la especie i

\ln = logaritmo natural

7.2.4.6. Análisis estadístico

A los datos se les realizaron pruebas de distribución normal y homocedasticidad de varianzas para cumplir los criterios y se realizaron ANOVAS, para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos, así mismo se utilizó la prueba múltiple de medias Tukey ($P < 0.05$) con el paquete estadístico Statgraphics XV (2005), para determinar diferencia estadística significativa entre tratamientos.

7.2.5. Resultados y discusión

7.2.5.1. Aislamiento de bacterias

En el Cuadro 14, se presentan los aislados de los suelos rizosféricos de las parcelas de aguacate de manejo agronómico convencional (MAC) y orgánico (MAO) donde en la parcela “El Zapote” se encontraron seis bacterias (tres de árboles sanos y tres de árboles enfermos) de la parcela La Tira se aislaron nueve bacterias (cuatro árboles sanos y cinco árboles enfermos); de la parcela “La Escondida” se registraron ocho (tres árboles sanos y cinco árboles enfermos) y por último de la parcela “San Antonio” fueron 12 bacterias (cinco árboles sanos y siete árboles enfermos). En total fueron 35 bacterias en donde 15 fueron de suelo de parcelas convencionales y 20 de parcelas orgánicas. Los aislados registrados en esta investigación fueron pocos comparados con los reportados por Esperschütz et al, (2007), donde estudiando suelos de cultivos de MAC y MAO de trigo, registraron 122 aislados de un MAO y 93 bacterias de MAC. Este resultado se debió por la aplicación de estiércoles en los cultivos de MAO y mencionaron que estas enmiendas orgánicas incrementan las poblaciones bacterianas, por lo mismo en este trabajo se encontraron más aislados en los suelos rizosféricos de las parcelas orgánicas de aguacate. Mientras Xia et al, (2015), analizaron suelos de cultivos de plátano convencionales y orgánicos, donde encontraron 239 aislados bacterianos de suelos MAO y 97 bacterias de suelos MAC de cultivos de tomate, maíz, melón y pimienta. Posteriormente dedujeron que las plantas de MAO, aumentaron la presencia de la diversidad en los suelos por los valores neutros de pH. En la investigación de Aziz et al. (2019), comentaron que la biomasa microbiana del suelo depende del contenido de materia orgánica que contenga, ya que es una fuente de alimento para las bacterias y que el manejo agronómico afecta la dinámica de microbiota.

Cuadro 14. Aislados encontrados en la rizosfera de árboles sanos y enfermos de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico

Manejo agronómico	Parcela	Sanidad del árbol	Numero de aislados
		Sanos	3
Convencional TA = 15	El Zapote	Enfermos	3
		Sanos	4
	La Tira	Enfermos	5
		Sanos	3
Orgánico TA = 20	La Escondida	Enfermos	5
		Sanos	5
	San Antonio	Enfermos	7

TA = total de aislados

7.2.5.2. Descripción de morfología macroscópica y microscópica de los aislados bacterianos.

En los Cuadros 15, 16, 17 y 18, Fig. 22 y 23 se muestra la descripción de las morfologías macroscópicas donde se registró el tamaño, forma, borde, transparencia, brillo, color, textura, elevación, consistencia, tinción Gram y descripción de las morfológicas microscópicas. Posteriormente se realizó un cuadro de comparativo entre las morfologías de los aislados rizosféricos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico (Cuadro 19), donde se observó que en el tamaño, forma, transparencia, brillo, color, textura y consistencia de las morfologías macroscópicas no presentaron diferencias entre los aislados rizosféricos de ambos manejo agronómico. En tanto en el borde los aislados del MAC, se presentaron ondulados, y en los aislados del MAO fueron filamentosos y lobulados; en la elevación los aislados del MAC, se observaron convexas mientras las bacterias del MAO, registraron ser elevadas y planas. Respecto a la prueba de tinción de Gram se registraron ocho Gram negativas y siete Gram positivas en el MAC, y 10 positivas y 10 negativas en el MAO. Para la descripción de la morfología microscópica, las bacterias del MAC, se observaron bacilos largos con espora en posición inicial, central y final; mientras, en el MAO, se observaron

bacilos largos, cortos y anchos algunos con esporas en posición final. Lo anterior nos mostró que los aislados rizosféricos no presentaron características morfológicas dominantes de un solo manejo, lo que indicó que entre el manejo convencional y orgánico de las parcelas de aguacate no influyeron en las diferencias de morfologías bacterianas (Acharya *et al.*, 2021). En el Cuadro 20, se muestra la comparación de los aislados entre árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico. En los árboles sanos se encontraron diferencias en el tamaño, ya que, en el MAC, se observaron tamaños puntiformes de elevación convexas con dos Gram positivas y cinco Gram negativas, con morfología microscópica de bacilos con espora en posición central. Mientras en los suelos sanos del MAO, se observaron tamaños puntiformes, formas irregulares de borde filamentoso, transparentes de elevación convexas con consistencias duras con cinco Gram positivas y dos Gram negativas con morfologías de cocobacilos, bacilos cortos y largos sin esporular. En el brillo, color y textura fueron similares. En tanto a las diferencias morfológicas de los aislados de árboles enfermos del MAC, se registraron tamaños medianos, formas fusiformes de elevación convexa con seis Gram positivas y dos Gram negativas con morfologías microscópicas similares a los de árboles sanos del MAC. En el MAO, en el tamaño se encontraron puntiformes de forma irregular con bordes lobulados de color amarillo, elevadas con cinco Gram positivas y cinco Gram negativas, y de morfología microscópica de bacilos esporulados. En el caso del borde, transparencia, brillo, color, textura y consistencia no se encontraron diferencias entre el MAC y MAO. Lo anterior concuerda con lo mencionado por Silva y Nahas, (2002), quienes aislaron bacterias de cultivos de pasto brasileño (*Brachiaria dictyoneura*), de parcelas fertilizadas y sin fertilizar, donde en las fertilizadas encontraron dominancia de bacterias Gram positivas formadoras de esporas, mientras que en las parcelas no fertilizadas predominaron morfologías bacilares Gram negativos y Gram positivos sin esporular, ellos dedujeron que estas características dependen del tipo de planta y manejo agronómico de las parcelas. En la rizosfera de los árboles enfermos los aislados que esporularon podrían ser las causantes de una enfermedad ya que varias especies bacterianas que forman esporas son fitopatógenas (Rojas-Rojas *et al.*, 2019). Así mismo, en la literatura se menciona que las esporas en bacterias se deben por la presencia de manganeso en el suelo (Pérez y Mota, 2006; Feijoo, 2016), lo cual, en este caso, este elemento registró altos contenidos; 38.80 ppm en “El Zapote”, 46.10 ppm de “La Tira”, 79.10 ppm de “La

Escondida” y 38.50 ppm de “San Antonio” (Cuadro 13). Lo anterior puede indicar que los aislados dependen de la sanidad del árbol y pueda existir una relación benéfica entre bacteria-planta, provienen aquellos árboles de alta producción de frutos. Mientras en el caso de las bacterias aisladas de la rizosfera de árboles poco productores tengan un efecto negativo para el árbol o viceversa.

Cuadro 15. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo convencional.

Origen aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
El Zapote	Sanos	SSZ 13	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Suave
		SSZ 15	Mediana	Fusiforme	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Rugosa	Elevada	Suave
		SSZ 40	Pequeña	Circular	Entero	Transparente	-	-	Lisa	Plana	Suave
	Enfermos	SEZ 7	Grande	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Rugosa	Plana	Dura
		SEZ 4	Pequeña	Fusiforme	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SEZ 11	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Suave
La Tira	Sanos	SST 33	Grande	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SST 21	Grande	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SST 34	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
	Enfermos	SST 45	Mediana	Circular	Entero	Transparente	-	-	Lisa	Plana	Suave
		SET 35	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Blanca	Lisa	Elevada	Mucoide
		SET 17	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Amarilla	Lisa	Plana	Suave
		SET 24	Mediana	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Convexa	Suave

B = brillante; (-) = no aplica. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira.

Continuación del Cuadro 15.

Origen aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
		SET 2	Grande	Fusiforme	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
La Tira	Enfermos	SET 43	Mediana	Irregular	Ondulado	Transparente	-	-	Lisa	Plana	Suave

B = brillante; (-). SET = suelo enfermo tira.

Cuadro 16. Características de la morfología macroscópica de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo orgánico.

Origen aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
La Escondida	Sanos	SSE 14	Grande	Fusiforme	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Rugosa	Plana	Suave
		SSE 5	Grande	Irregular	Filamentosa	Transparente	-	Blanca	Rugosa	Plana	Dura
		SSE 16	Pequeña	Circular	Ondulado	Opaca	-	Amarilla	Lisa	Elevada	Suave
		SEE 8	Puntiforme	Circular	Entero	Transparente	B	Amarilla	Lisa	Convexa	Dura
	Enfermos	SEE 9	Pequeña	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SEE 10	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SEE 12	Grande	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
		SEE 6	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	-	Amarilla	Lisa	Plana	Suave
		SSSA 42	Mediana	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SSSA 37	Mediana	Circular	Entero	Transparente	B	-	Lisa	Elevada	Suave
San Antonio	Sanos	SSSA 38	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SSSA 44	Pequeña	Circular	Entero	Transparente	-	-	Lisa	Elevada	Mucoide
		SSSA 39	Pequeña	Circular	Entero	Transparente	B	-	Lisa	Elevada	Suave

B = brillante; (-) = no aplica. SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio

Continuación Cuadro 16.

Origen aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Tamaño	Forma	Borde	Transparencia	Brillo	Color	Textura	Elevación	Consistencia
San Antonio	Enfermos	SESA 18	Puntiforme	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
		SESA 23	Grande	Circular	Entero	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SESA 19	Grande	Irregular	Ondulado	Opaca	-	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SESA 32	Grande	Rizoide	Rizoide	Opaca	-	Blanca	Lisa	Elevada	Suave
		SESA 31	Pequeña	Circular	Entero	Opaca	-	Amarilla	Lisa	Plana	Suave
		SESA 41	Grande	Circular	Entero	Opaca	B	Blanca	Lisa	Plana	Suave
		SESA 36	Grande	Irregular	Lobulado	Opaca	B	Blanca	Lisa	Elevada	Suave

B = brillante; (-) = no aplica. SESA = suelo enfermo san Antonio.

Cuadro 17. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo convencional.

Origen del aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Gram	Descripción morfología microscópica
El Zapote	Sanos	SSZ 13	-	Cocos
		SSZ 15	+	Bacilos largos
		SSZ 40	-	Bacilos cortos esporulados
	Enfermos	SEZ 7	+	Bacilos largos esporulados
		SEZ 4	+	Bacilos cortos espora central
		SEZ 11	-	Cocos
		SST 33	-	Bacilos largos sin esporular
La Tira	Sanos	SST 21	-	Bacilos largos sin esporular
		SST 34	-	Bacilos cortos
		SST 45	+	Bacilos largos espora central
	Enfermos	SET 35	-	Bacilos cortos sin esporular
		SET 17	+	Bacilos largos espora central
		SET 24	+	Bacilos largos
		SET 2	+	Bacilos largos espora inicial
SET 43	+	Bacilos largos		

(+) = positiva; (-) = negativa. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira.

Cuadro 18. Morfologías microscópicas de los aislados bacterianos de la rizosfera de árboles sanos y enfermos de las parcelas de aguacate de manejo orgánico.

Origen del aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Gram	Descripción morfología microscópica
La Escondida	Sanos	SSE 14	+	Bacilos largos
		SSE 5	+	Bacilos largos anchos
		SSE 16	+	Bacilos largos
	Enfermos	SEE 8	-	Cocos
		SEE 9	+	Bacilos largos y anchos
		SEE 10	+	Cocos
		SEE 12	+	Bacilos largos sin esporular
		SEE 6	+	Bacilos anchos
San Antonio	Sanos	SSSA 42	-	Bacilos cortos
		SSSA 37	-	Bacilos esporulados
	SSSA 38	+	Cocobacilos	
	SSSA 44	-	Bacilos cortos	
	SSSA 39	+	Bacilos esporulados	

(+) = positiva; (-) = negativa. SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio.

Continuación del Cuadro 18.

Origen del aislado	Sanidad del árbol	Aislado	Gram	Descripción morfología microscópica
		SESA 18	+	Bacilos cortos esporulados
		SESA 23	+	Bacilos cortos esporulados
San Antonio	Enfermos	SESA 19	-	Bacilos cortos
		SESA 32	-	Bacilos cortos
		SESA 31	-	Bacilos cortos
		SESA 41	-	Bacilos largos
		SESA 36	-	Bacilos cortos

(+) = positiva; (-) = negativa. SESA = suelo enfermo san Antonio.

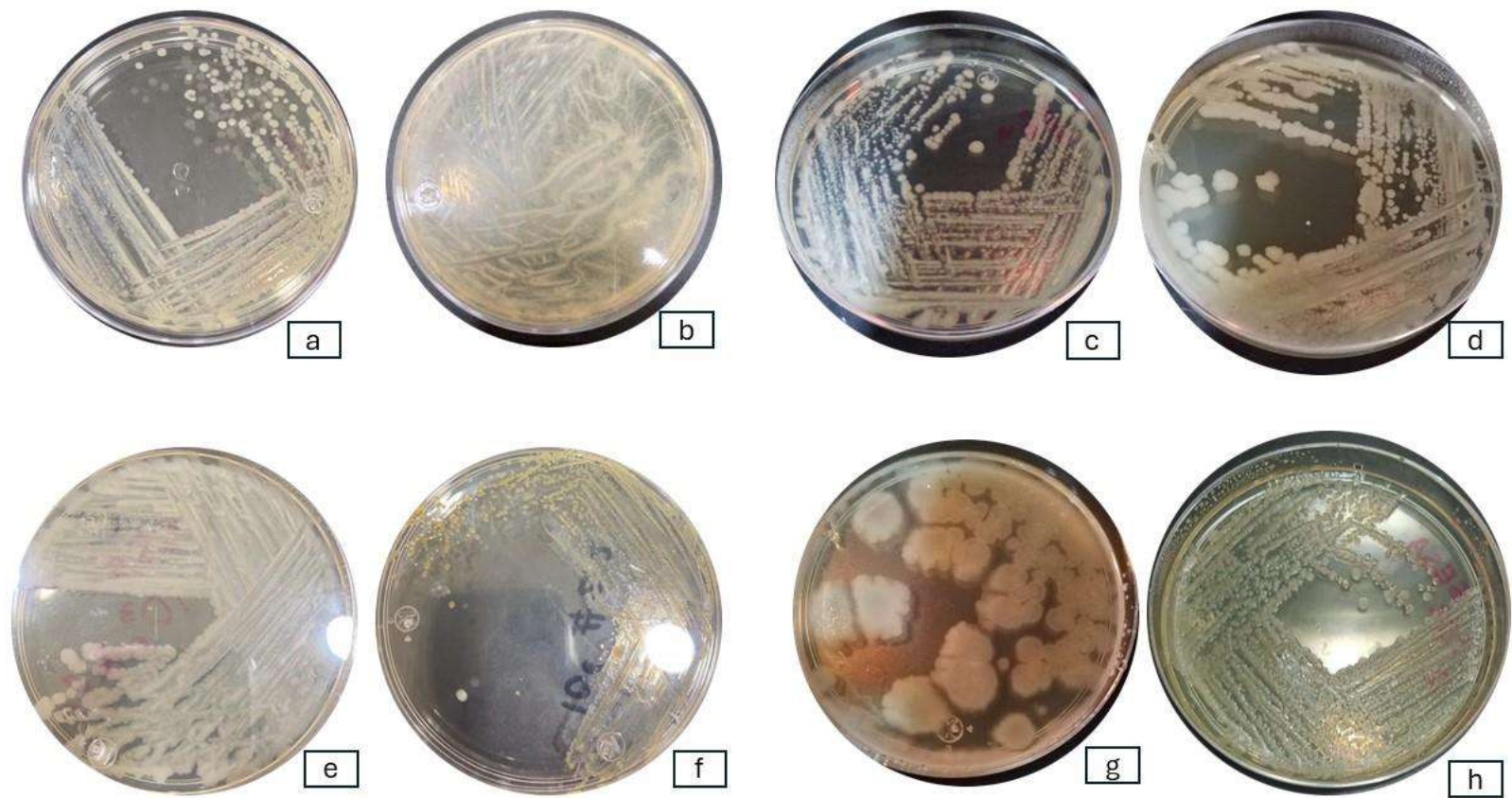


Figura 20. Aspecto de las morfologías macroscópicas de aislados de árboles sanos y enfermos de la rizosfera de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico. a = SSZ 15; b = SEZ 4; c = SST 21; d = SET 24; e = SSE 14; f = SEE 8; g = SSSA 38 y h = SESA 23. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio; SESA = suelo enfermo san Antonio.

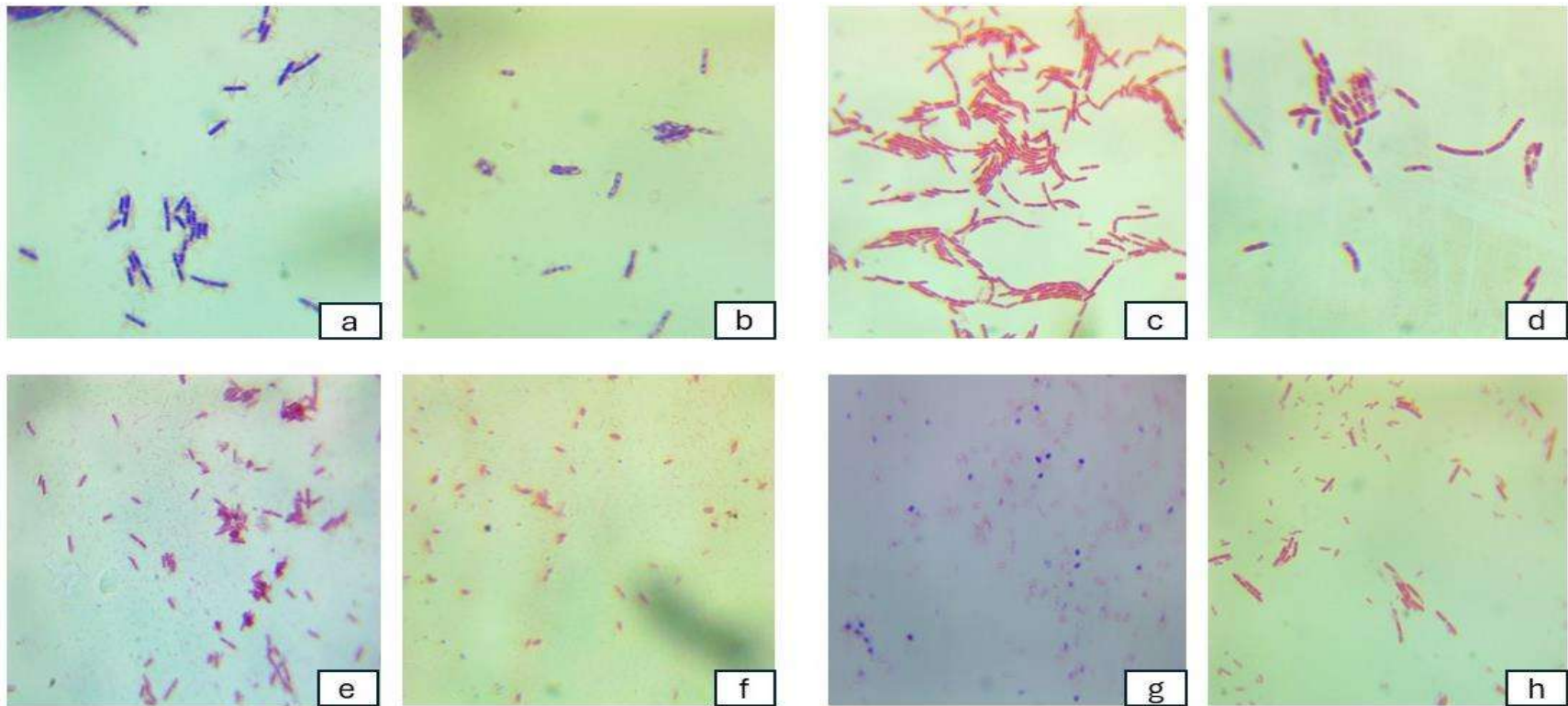


Figura 21. Aspecto general de las morfologías microscópicas de aislados de árboles sanos y enfermos de la rizosfera de parcelas de aguacate con distinto manejo agronómico. a = SSZ 15; b = SEZ 4; c = SST 21; d = SET 24; e = SSE 14; f = SEE 8; g = SSSA 38 y h = SESA 23. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio; SESA = suelo enfermo san Antonio.

Cuadro 19. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de los suelos rizosféricos de aguacate de diferente manejo agronómico.

Características de morfologías	Aislados de suelos de parcelas convencionales	Aislados de suelos de parcelas orgánicas
Tamaño	Puntiformes, pequeñas, medianas y grandes	Puntiformes, pequeñas, medianas y grandes
Forma	Circulares, fusiformes, rizoides e irregulares	Circulares, fusiformes, rizoides e irregulares
Borde	Enteros, ondulares y rizoides	Enteros, rizoides, filamentosos y lobulados
Transparencia	Opacas y transparentes	Opacas y transparentes
Brillo	B y SB	B y SB
Color	Blancas y amarillas	Blancas y amarillas
Textura	Lisas	Lisas
Elevación	Convexas, elevadas y planas	Elevadas y planas
Consistencia	Suaves, mucoides y duras	Suaves, mucoides y duras
Gram Positivas	8	10
Gram Negativas	7	10
Descripción de morfología microscópica	Bacilos largos con espora en posición inicial, central y final	Bacilos largos, cortos, anchos esporulados

B = brillante; SB = sin brillo

Cuadro 20. Comparación de características de morfológicas macroscópicas y microscópicas de los aislados de los suelos rizosféricos de árboles sanos y enfermos de aguacate de diferente manejo agronómico.

Características de morfologías	Aislados de árboles sanos de parcelas convencionales	Aislados de árboles sanos de parcelas orgánicas	Aislados de árboles enfermos de parcelas convencionales	Aislados de árboles enfermos de parcelas orgánicas
Tamaño	Puntiformes, pequeñas, medianas y grandes	Pequeñas, medianas y grandes	Pequeña, mediana y grande	Puntiforme, pequeñas y grandes
Forma	Fusiforme y rizoide	Fusiforme e irregular	Fusiformes y rizoides	Circulares, rizoides e irregulares
Borde	Enteros y ondulares	Enteros, ondulares y filamentosos	Enteros, ondulados y rizoides	Enteros, ondulados, rizoides y lobulados
Transparencia	Opacas	Opacas y transparentes	Opacas	Opacas
Brillo	SB	SB	B y SB	B y SB
Color	Blancas	Blancas	Blancas	Blancas y amarillas
Textura	Lisas	Lisas	Lisas	Lisas
Elevación	Convexas, elevadas y planas	Elevadas y planas	Convexas y planas	Elevadas y planas
Consistencia	Suaves y mucoides	Suave, mucoides y duras	Suaves y duras	Suaves y duras
Gram Positivas	2	5	6	5
Gram Negativas	5	3	2	5
Descripción de morfología microscópica	Cocos, bacilos largos, cortos, esporulados y con espora en posición central	Cocobacilos, bacilos largos y cortos	Cocos, bacilos largos, cortos esporulados y con espora en posición inicial y final	Cocos, bacilos largos, anchos y cortos esporuladas

B = brillante; SB = sin brillo

7.2.5.3. Determinación del índice de diversidad de los aislados bacterianos

En el Figura 22, se presenta el índice de Shannon de diversidad (IDS) bacteriana, de acuerdo con el tipo de manejo. Para las parcelas de aguacate con MAO, se obtuvo 2.44, la literatura indica que este valor señala alta diversidad de especies bacterianas (Jost y González-Oreja, 2012), posiblemente se deba por el contenido de materia orgánica de los suelos de las parcelas que es superior al 9 %, al pH neutro y mayor cantidad de nutrientes comparados con los de las parcelas con MAC (Cuadro 11). Se sabe que en los suelos con mayor cantidad de nutrientes le otorga mantenimiento a la diversidad de bacterias (Lozada *et al.*, 2004; Hernández – Flores *et al.*, 2013). Mientras al ser parcelas MAO, se aplican enmiendas de estiércoles, compostas y vermicompost que probablemente aumentaron el carbono disponible para la reproducción de las bacterias e incrementaron las poblaciones bacterianas en el suelo (Joshi *et al.*, 2015). El IDS de las parcelas con MAO, fue estadísticamente diferente al 1.75 de las parcelas con MAC, este resultado posiblemente es por la aplicación de agroquímicos que por sus componentes ocasionan una disminución de la diversidad bacteriana en el suelo (Orr *et al.*, 2015).

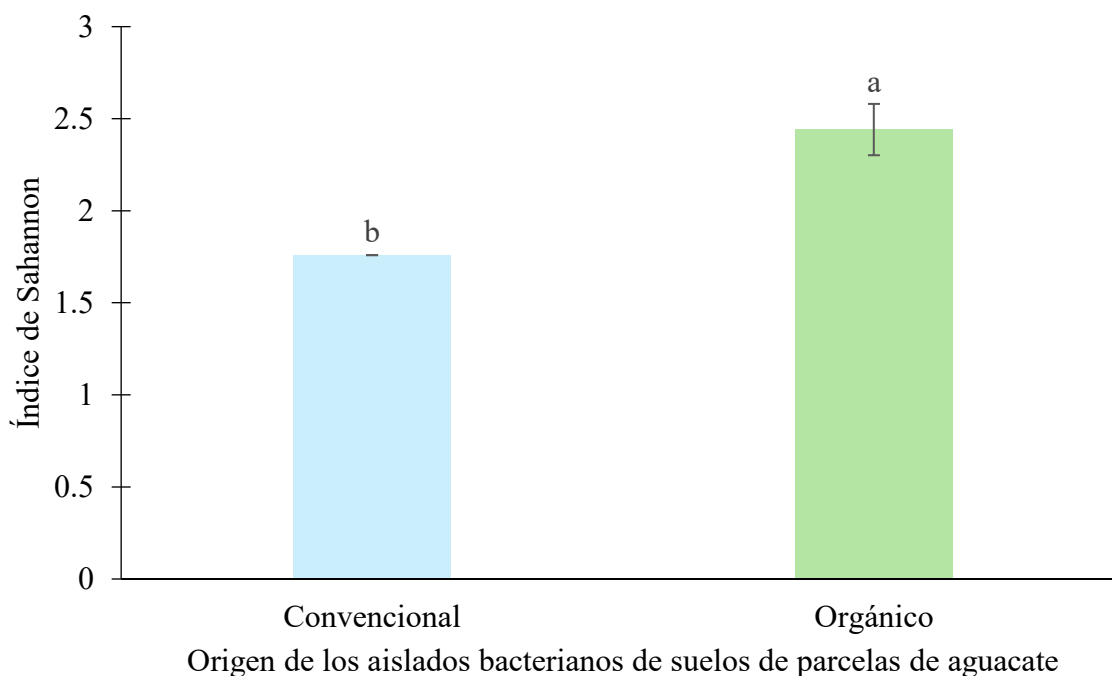


Figura 22. Índice de diversidad bacteriana de parcelas de *Persea americana* con manejo convencional y orgánico. Letras distintas sobre las barras indican diferencia significativa (Tukey, $P < 0.05$). Barras de los rectángulos indican el error estándar.

En la Figura 23, se observa que en las parcelas entre MAC y MAO hay más variabilidad en el IDS, lo cual puede ser explicado en parte por el distinto manejo y uso de productos que se da entre estas parcelas que en promedio las parcelas con MAC, tienen un IDS más bajo que en las parcelas con MAO. Por su parte en las distintas parcelas del MAO a pesar de haber diferencia significativa entre los IDS, tiende a ver menos variabilidad. No se observó efecto en el IDS dependiendo si el árbol fuera sano o enfermo. El mayor IDS 1.81 se presentó en la parcela orgánica de “San Antonio”. Los resultados de los IDS de las parcelas convencionales resultaron ser bajos. Martínez-Aguilar et al. (2020), determinaron el IDS de microorganismos en suelos de cultivos de maíz con manejo convencional, donde encontraron 0.789 y 0.924 de IDS, estos valores bajos se debieron a la fertilización excesiva de los suelos. Lo anterior puede indicar el manejo agronómico convencional, influye en la fertilidad de los suelos, nutrición de los cultivos y sanidad del árbol (Larios-González *et al.*, 2014).

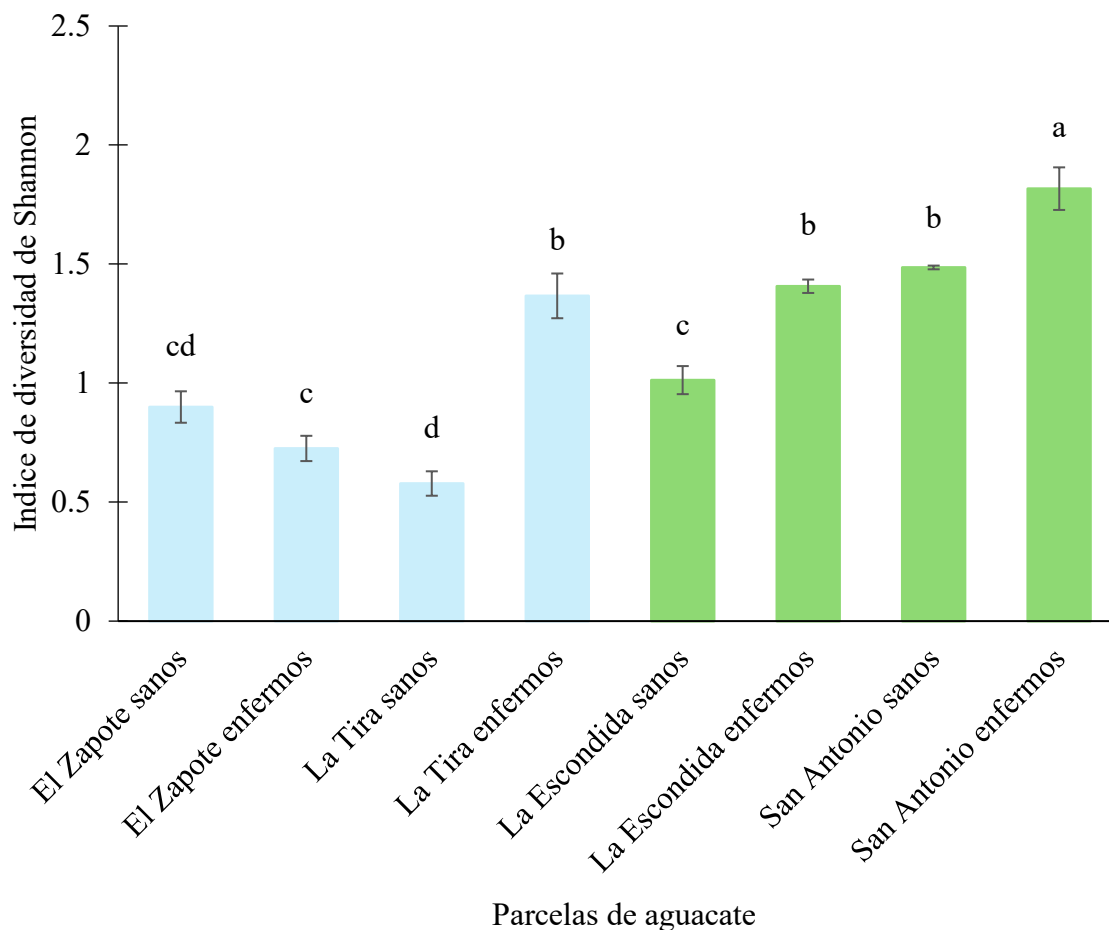


Figura 23. Índice de diversidad bacteriana de suelo rizosférico de árboles sanos y enfermos de *Persea americana* con manejo convencional y orgánico. Barras azules = parcelas convencionales. Barras verdes = parcelas orgánicas. Letras distintas sobre las barras indican diferencia significativa (Tukey, $P < 0.05$). Barras de los rectángulos indican el error estándar.

7.2.6. Conclusiones

En esta investigación se encontraron 35 aislados de suelo rizosférico de árboles sanos y enfermos parcelas de aguacate con MAC y 20 de MAO, donde el manejo agronómico no determinó una sola característica de las morfologías macroscópicas y microscópicas, pero entre árboles sanos y enfermos de diferente manejo si se presentaron diferencias en tamaños, forma, bordes, consistencias y en estructuras microscópicas, ya que tanto en árboles sanos y enfermos se encontraron bacterias que esporularon. Mientras en el MAO se registró un IDS de 2.44, valor superior al 1.75 del MAC y con esto se comprobó que las prácticas agrícolas orgánicas en las parcelas de aguacate incrementan la diversidad bacteriana rizosférica. Se

observó que en la sanidad de los árboles entre MAC y MAO existió variabilidad del IDS, pero los resultados del MAC resultaron ser más bajos, lo que nos indica que el manejo agronómico influye en la diversidad bacteriana de los suelos.

7.2.7. Literatura citada

- Acharya, M., Ashworth, A. J., Yang, Y., Burke, J. M., Lee, J. A., & Acharya, R. S. (2021). Soil microbial diversity in organic and non-organic pasture systems. *PeerJ*, 9, e11184.
- Alcarráz Curi, M., Heredia Jiménez, V., & Julian Ibarra, J. P. (2019). Cepas bacterianas nativas con actividades promotoras del *crecimiento* vegetal aisladas de la rizosfera de *Coffea* spp. en Pichanaqui, Perú. *Bioteología Vegetal*. 19(4), 285-295.
- Aziz, M. A., Hazra, F., Salma, S., & Nursyamsi, D. (2019). Soil enzyme activities and their relationship to total soil bacteria, soil microbial biomass and soil chemical characteristics of organic and conventional farming. *Journal of Tropical Soils*, 23(3), 133-141.
- Bebber, D. P., & Richards, V. R. (2022). A meta-analysis of the effect of organic and mineral fertilizers on soil microbial diversity. *Applied Soil Ecology*, 175; 104450.
- Esperschütz, J., Gattinger, A., Mäder, P., Schloter, M., & Fließbach, A. (2007). Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. *FEMS Microbiology Ecology*, 61(1), 26-37.
- Fawzy, Z. F., Shedeed, S. I., & Hassan, N. M. (2016). A review of organic agricultural of some vegetables crops. *American Journal of Food Science and Health*, 2(3), 25-31.
- Feijoo, M. A. L. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(2), 31-40.
- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., & Widmer, F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME journal*, multidisciplinary journal of microbial ecology 9(5), 1177-1194.

- Hernández-Flores, L., Munive-Hernández, J. A., Sandoval-Castro, E., Martínez-Carrera, D., & Villegas-Hernández, M. C. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 353-365.
- Joshi, R., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14, 137-159.
- Jost, L., & González-Oreja, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 3-14.
- Larios-González, R. C., Salmerón-Miranda, F., & García-Centeno, L. (2014). Fertilidad del suelo con prácticas agroecológicas y manejo convencional en el cultivo de café. La Calera. 14(23). 67-75.
- Lozada, A. E., Lagarda, G. G., Jiménez, A. M., & Zapata, F. B. (2004). Diversidad bacteriana del suelo: métodos de estudio no dependientes del cultivo microbiano e implicaciones biotecnológicas. *Agrociencia*, 38(6), 583-592.
- Martínez-Aguilar, F. B., F. Guevara-Hernández, C. E. Aguilar-Jimenez, L. A. Rodríguez-Larramendi, M. B. Reyes-Sosa y M. A. La O-Arias. 2020. Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Terra Latinoamericana* 38: 871-881
- Muñoz, S. S., Navarro, K. J. J., Martin Frias Herrera, J., Romero, H. E., Ríos, J. A. S., Alba, E. M. y Arciniega, J. N. L. (2018). Aislamiento de bacterias de suelo como fuente de péptidos antimicrobianos contra cepas patógenas. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. 9(21). 821-830.
- Orr, C. H., Stewart, C. J., Leifert, C., Cooper, J. M., & Cummings, S. P. (2015). Effect of crop management and sample year on abundance of soil bacterial communities in organic and conventional cropping systems. *Journal of Applied Microbiology*, 119(1), 208-214.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(8), 583-590.

- Pérez, M., & Mota, M. (2006). Morfología y estructura bacteriana. *Temas de bacteriología y virología médica*, 23-42.
- Rachwał, K., Gustaw, K., Kazimierczak, W., & Waśko, A. (2021). Is soil management system really important? comparison of microbial community diversity and structure in soils managed under organic and conventional regimes with some view on soil properties. *Plos one*, 16(9), e0256969.
- Rocha Mendoza C.C. 2018. Competitividad internacional del aguacate orgánico en Michoacán, un estudio basado en la metodología de Partial Leasr Squares. (Tesis maestría Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Repositorio institucional.
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/1064/ININEE-M-2018-0492.pdf?sequence=1
- Rojas-Rojas, F. U., López-Sánchez, D., Meza-Radilla, G., Méndez-Canarios, A., Ibarra, J. A., & Estrada-de los Santos, P. (2019). El controvertido complejo *Burkholderia cepacia*, un grupo de especies promotoras del crecimiento vegetal y patógenas de plantas, animales y humanos. *Revista argentina de microbiología*, 51(1), 84-92.
- Silva, P. D., & Nahas, E. (2002). Bacterial diversity in soil in response to different plans, phosphate fertilizers and liming. *Brazilian Journal of Microbiology*, 33, 304-310.
- Skinner, C., Gattinger, A., Krauss, M., Krause, H. M., Mayer, J., Van Der Heijden, M. G., & Mäder, P. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*. 9(1). 1-10.
- Sylvia, S., Rahim, H., Surapati, U., Rosmana, A., & Dewi, V. S. (2020). Diversity of microbes in organic and non-organic vegetable ecosystem. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 486 (1). 012086.
- Xia, Y., DeBolt, S., Dreyer, J., Scott, D., & Williams, M. A. (2015). Characterization of culturable bacterial endophytes and their capacity to promote plant growth from plants grown using organic or conventional practices. *Frontiers in plant science*, 6, 119992.

Capítulo 7.3. Evaluación del potencial biológico de promoción del crecimiento vegetal de bacterias aisladas de distintos ambientes.

7.3.1. Resumen

El potencial biológico de algunas bacterias consiste en la realización de mecanismos directos con capacidad de promoción de crecimiento vegetal como lo son: la solubilización de fósforo (SF), calcio (SC), fijación biológica de nitrógeno (FBN), producción de fitohormonas, sideróforos, entre otros. Dependiendo de donde se encuentren o aislen las bacterias, puede determinar si este o no activando algún mecanismo de promoción. Por lo que en este trabajo, se planteó: determinar el potencial biológico de aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA), (suelo rizosférico de cultivo de aguacate con manejo convencional y orgánico, así como de las vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico con estiércol bovino), a través de su capacidad de solubilización de fósforo (SF), calcio (SC), actividad fosfatasa y fijación de nitrógeno (FBN), y evaluar estos mecanismos de promoción de crecimiento, en plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum*). Se evaluaron 109 aislados de ABDA, de los cuales solo 34 presentaron al menos un mecanismo de promoción de crecimiento vegetal. Las bacterias aisladas de parcelas con manejo agronómico orgánico mostraron SF, SC y FBN, mientras que las bacterias aisladas de lixiviados y vermicompost fueron las que presentaron potencial en SC y FBN. Los aislados bacterianos de vermicompost presentaron un efecto benéfico en la inoculación de jitomate ya que incrementaron las variables respuesta fenológicas en comparación el control sin inocular. En los ambientes orgánicos abundan más los aislados bacterianos con potencial biológico de promoción de crecimiento vegetal.

Palabras clave: Efectividad biológica, Manejo agronómico, Suelo y Vermicompostas

7.3.2. Abstract

The biological potential of some bacteria consists of direct mechanisms with the capacity to promote plant growth such as: solubilization of phosphorus (SP), calcium (SC), biological nitrogen fixation (BNF), production of phytohormones, siderophores, among others. Depending on where the bacteria are found or isolated, it can determine whether or not they are activating a promotion mechanism. Therefore, in this work, it was proposed: to determine the biological potential of bacterial isolates from different environments (BIDE), (rhizospheric soil of avocado crop with conventional and organic management, as well as

vermicomposts with conventional and organic avocado residues with bovine manure), through their capacity to solubilize phosphorus, calcium, phosphatase activity and nitrogen fixation, and to evaluate these growth promotion mechanisms in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings. A total of 109 BIDE were evaluated, of which only 34 showed at least one mechanism of plant growth promotion. Bacteria isolated from plots with organic agronomic management showed SP, SC and BNF, while bacteria isolated from leachates and vermicompost showed potential in SC and BNF. Bacterial isolates from vermicompost showed a beneficial effect in the inoculation of tomato as they increased the phenological response variables compared to the uninoculated control. Bacterial isolates with biological potential to promote plant growth are more abundant in organic environments.

Key words: Biological effectiveness, Agronomic management, Soil and Vermicompost.

7.3.3. Introducción

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal desempeñan un papel importante en el crecimiento de las plantas por los mecanismos directos que pueden producir como lo son: solubilización de fósforo, calcio y fijación de nitrógeno (Gupta *et al.*, 2021). En la literatura se menciona que estos elementos son fundamentales para el sano crecimiento vegetal, como el fósforo que es el segundo nutriente importante en el crecimiento de plantas, es esencial para la división celular, transducción de señales, biosíntesis macromolecular, fotosíntesis y respiración de las plantas (Razaqu *et al.*, 2017). Una de las problemáticas del fósforo es que no se encuentra disponible en el suelo y su fuente se ve limitada. El fósforo en los suelos se puede encontrar en tres categorías 1) compuesto inorgánico formando complejos con aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{3+}), manganeso (Mn^{2+}) y calcio (Ca^{2+}); 2) compuestos orgánicos como el humus, inositol, ácido fítico y fosfatos de azúcar, nucleótidos, fosfoproteínas y fosfolípidos; y 3) compuestos orgánicos e inorgánicos asociados a materia de células vivas (Yadav y Verma, 2012). Cabe mencionar que la precipitación e inmovilización del fósforo en los suelos está relacionada con el pH del suelo. Algunas rizobacterias y bacterias de vermicompostas tienen la capacidad de solubilizar fosfatos a partir de compuestos inorgánicos u orgánicos. Las vías para la solubilización del fosfato son por liberación de ácidos orgánicos y actividades enzimáticas como las fosfatasas (Bhat *et al.*, 2020; Velasco-Jiménez *et al.*, 2020). Por otro lado, el Ca^{2+} se encuentra en solución del suelo y su contenido es variable de acuerdo con el tipo de suelo y el pH. Este es un elemento importante para el

desarrollo de raíces, hojas ayuda a reducir los nitratos en plantas, activa el sistema de enzimas y neutraliza ácidos orgánicos en las plantas y suelos, participa en la regulación de la reproducción sexual de las flores y maduración de frutos (Hocking *et al.*, 2016), por lo cual, es importante que se encuentre de forma disponible en los suelos. Mientras el nitrógeno es fundamental en la productividad de cultivos y procede de las reservas del suelo de los fertilizantes o de la fijación de nitrógeno atmosférico por bacterias rizosféricas. Interviene en la división celular, producción de clorofila y fotosíntesis, también forma sustancias como proteínas que sirven como catalizadores enzimáticos en las vías metabólicas y son importantes estructurales del citoplasma y membranas con la acción de ser portadoras en funciones del transporte, destacando que es esencial en la formación de los ácidos nucleicos (Leghari *et al.*, 2016). Por lo cual, es importante buscar alternativas ecológicas que puedan evitar que estos elementos sean deficientes para las plantas. Las bacterias de suelos de cultivos y vermicompostas podrían ser las indicadas para llevar a cabo mecanismos de promoción de crecimiento vegetal, pero la potencialidad de cada una dependerá de los ambientes donde se encuentren.

Existen investigaciones donde han evaluado rizobacterias como solubilizadoras de fosfato, calcio y fijadoras de nitrógeno; Lara et al. (2011), evaluaron bacterias aisladas de un suelo con manejo orgánico identificada como *Burkholderia cepacia* (solubilizadora de fosfato), que posteriormente la inocularon en rábano (*Raphanus sativus*) con una concentración de 1×10^8 UFC/mL; registraron 260 mg de peso fresco total, valor estadísticamente diferente a 140 mg de peso fresco total de rábano sin inocular. Estos autores dedujeron que la utilización de rizobacterias nativas fueron eficientes para la solubilización de fosfatos y representaron un potencial biológico para los cultivos y la disminución de fertilizaciones químicas elevadas. Corrales-Lozada (2020), aislaron de la rizosfera de verdolaga (*Portulaca oleracea*) bacterias donde el 88.9 % de ellas fijaron nitrógeno atmosférico, el género *Azospirillum* fue el que registró 64 ppm de amonio (NH_4^+) producido *in vitro*, mientras el 96 % de los aislados bacterianos solubilizaron fosfato y encontraron que el género *Burkholderia* presentó 64.9 ppm del fósforo soluble. Por lo anterior indicaron que las bacterias rizosféricas que promueven el crecimiento vegetal se caracterizan por ser fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. Sherpa et al. (2021), aislaron bacterias con potencial biológico en el suelo de un cultivo con manejo orgánico de chícharo (*Pisium sativa*), donde encontraron

40 aislados bacterianos, de los cuales *Bacillus cereus* y *Variovorax paradoxus* solubilizaron fosfato *in vitro* e inocularon en chícharo y registraron 21.13 cm y 28.06 cm de altura de planta (AP), valores estadísticamente diferentes con 16.03 de AP del chícharo sin inocular. Mientras Ramos et al. (2022), analizaron cepas de *Bacillus* sp, donde encontraron entre un 24.5%, 23.4 % y 23 % de solubilización de calcio, ellos mencionaron que este género es capaz de solubilizar moléculas como el fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$); así mismo, liberan los iones del grupo fosfato (PO_4)⁻³ a la rizosfera, siendo así asimilables para las plantas; también evaluaron *Bacillus cereus* y *Bacillus lincheniformis* en cempasúchil (*Tagetes erecta*) y registraron 51.74 g de biomasa de raíz fresca valor estadísticamente diferente a 31.76 g de biomasa fresca de raíz de cempasúchil sin inocular, concluyeron que las rizobacterias que solubilizaron calcio fue por la producción de ácido indol acético fitohormona que incremento el peso de las raíces.

Por otro lado, en el proceso de las vermicompostas, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), trabaja en conjunto con bacterias que producen enzimas que degradan la materia orgánica y que también poseen mecanismos directos para promueven el crecimiento vegetal; ya que las lombrices ingieren bacterias de los estiércoles y residuos vegetales que pueden producir metabolitos como antibióticos, fitohormonas y enzimas que solubilizan nutrientes. Existen investigaciones donde realizan el aislamiento de bacterias de vermicompostas para inocular en plantas con interés agronómico, como lo mencionan Pandya et al. (2014), quienes aislaron *Pseudomonas stutzeri* y *Pseudomonas moselli*, de vermicomposta que resultaron ser solubilizadoras de fosfato *in vitro*, y fueron inoculadas en garbanzo (*Cicer arietinum*), donde registraron un efecto benéfico en las plantas ya que aumentaron la longitud radical un 100 % y el peso seco un 36.37% sobre el control no inoculado.

Por lo tanto, en esta investigación se planteó: determinar el potencial biológico de los aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA) por medio de la solubilización de fósforo, calcio, actividad fosfatasa y fijación de nitrógeno y evaluar el efecto de los ABDA en la promoción del crecimiento de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum*). Se espera encontrarán un mayor número de bacterias con capacidad de promoción de crecimiento vegetal en suelos respecto a los otros ambientes.

7.3.4. Materiales y métodos

Los aislados de las bacterias de diferentes ambientes utilizados en este experimento fueron aislados de rizosfera de árboles sanos y enfermos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico, lixiviado, intestino, piel de *E. foetida* y vermicompost de vermicompostas (elaboradas con residuos de aguacate de diferente manejo agronómico más estiércol bovino), en total se obtuvieron 108 aislados bacterianos, a los cuales a todos se les realizaron pruebas bioquímicas para determinar su potencial biológico en la promoción de crecimiento vegetal. Como controles positivos para la solubilización de fosfato, calcio y actividad fosfatasa se utilizó *Bacillus thuringiensis* donada por el laboratorio de Microbiología Ambiental del Instituto Químico Biológicas de la UMSNH. Mientras para la prueba de fijación biológica de nitrógeno se utilizó *Azotobacter vinelandii* y para la evaluación de potencial biológico en jitomate se utilizaron *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense*, que fueron donadas por el laboratorio de fitopatología, unidad de biotecnología vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño de Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ).

7.3.4.1. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA)

Para la determinación del potencial biológico de los ABDA se realizó:

a) Solubilización de fosfato.

Cada aislado bacteriano se inoculó en el medio NBRIP g/L: 10 glucosa, 5 Ca₃(PO₄)₂, 0.25 MgSO₄·7H₂O, 0.2 KCl, 5 MgCl₂·6H₂O, 0.1 (NH₄)₂SO₄, 17 agar bacteriológico, ajustado a pH de 7; (Nautiyal, 1999). Los aislados se dejaron en incubación a 32°C por 15 días; posteriormente a las bacterias que solubilizaron fosfato, se les presentó un halo transparente o zona clara alrededor de la colonia, el cual se midió el índice de solubilización con la siguiente fórmula (Corrales-Ramírez *et al.*, 2014):

$$IS = \frac{\text{Diámetro de la colonia (mm)} + \text{diámetro de halo(mm)}}{\text{Diámetro colonia (mm)}}$$

b) Actividad fosfatasas ácidas y alcalinas

Para medir la actividad de fosfatasas ácidas y alcalinas de los aislados bacterianos será por el método cuantitativo descrito por Gómez-Guiñán, (2004), se tomarán 5mL de cada aislado que en la prueba cualitativa salga positiva y se les añadirá con 45mL de agua destilada estéril, se transferirán a 20mL de buffers universales a pH de 5.5 y 9.0 para la determinación de fosfatasas ácidas y alcalinas respectivamente. Los preparados se homogeneizarán a 800rpm/30 seg, se recuperará 3mL de la suspensión y se añadirá 1mL de p-nitrofenilfosfato (0.025M), se incubarán por 3h/37°C, y de nuevo se centrifugarán a 2000 rpm / 10 min, se tomarán 0.5mL del sobrenadante con 4.5mL de NaOH (0.5M). El p-nitrofenol liberado, se medirá en espectrofotómetro a 410 nm.

c) Solubilización de calcio

Se utilizó el medio Pikovskaya (PVK) g/L: 10 glucosa, 0.5 (NH₄)₂SO₄, 2.5 CaCO₃, 0.2 NaCl, 0.1 MgSO₄, 0.2 KCl, 0.5 extracto de levadura, 0.1 MnSO₄ y 20 de agar bacteriológico con pH de 7. Los aislados se dejaron en incubación a 32°C por 8 días; posteriormente a las bacterias que solubilizaron calcio, se les presentó un halo transparente o zona clara alrededor de la colonia, el cual se midió en milímetros (mm) (Nautiyal, 1999). Este dato se utilizó para medir el índice de solubilización con la siguiente fórmula (Corrales-Ramírez *et al.*, 2014):

$$IS = \frac{\text{Diámetro de la colonia (mm)} + \text{diámetro de halo(mm)}}{\text{Diámetro colonia (mm)}}$$

d) Fijación biológica de nitrógeno

Para esta prueba in vitro se realizó medio NFB semisólido g/L: 5 ácido málico, 4 KOH, 0.5 K₂HPO₄, 0.02 NaCl, 0.01 CaCl₂, 0.05 FeSO₄, 2 mL azul de bromotimol, 2 mL solución de micronutrientes (0.2 Na₂MoO₄·2H₂O, 0.235 MnSO₄·H₂O, 0.28 H³BO³, 0.008 CuSO⁴·5H₂O, 0.024 ZnSO₄·7H₂O y 8 agar bacteriológico, ajustado a pH 7 (Argüello-Navarro *et al.*, 2016), los aislados se dejaron en incubación por 15 días a 30°C y se observó viraje de color del medio de verde amarillo a azul lo que confirmó de manera cualitativa si los aislados fijaron nitrógeno; posteriormente se realizó medio NFB líquido para poder cuantificar cuanto

nitrógeno fijaron los aislados en manera NO_3^- ppm que se midieron con el ionómetro portátil (Laquatwin NO_3 11).

7.3.4.2. Evaluación de los ABDA en *Solanum lycopersicum*

Para la efectividad biológica de los ABDA, se realizó un diseño experimental completamente al azar de un factor que fue el origen de aislamiento teniendo como niveles: suelos sanos y enfermos de parcela convencional “El Zapote, La Tira y de parcelas de manejo orgánico como “La Escondida” y “San Antonio”, lixiviado, intestino y piel de *E. foetida* y vermicompost de vermicomposta con residuos de aguacate convencional y orgánico donde se añadió un control negativo sin inocular, generando 104 tratamientos con 12 repeticiones cada uno (Cuadro 21).

Cuadro 21. Diseño experimental para evaluar los aislados bacterianos de diferentes ambientes en *S. lycopersicum*

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen del aislado	Suelo sano parcela convencional “El Zapote”	T1 = SSZ 13, T2 = SSZ 15, T3 = SSZ 40,
	Suelo enfermo de parcela convencional “El Zapote”	T4 = SEZ 7, T5 = SEZ 4, T6 = SEZ 11,
	Suelo sano parcela convencional “La Tira”	T7 = SST 33, T8 = SST 21, T9 = SST 34, T10 = SST 45,
	Suelo enfermo de parcela convencional “La Tira”	T11 = SET 35, T12 = SET 17, T13 = SET 24, T14 = SET 2 y T15 = SET 43.
	Suelo sano de parcela orgánica “La Escondida”	T16 = SSE 14, T17 = SSE 5, T18 = SSE 16
	Suelo enfermo de parcela orgánica “La Escondida”	T19 = SEE 8, T20 = SEE 9, T21 = SEE 10, T22 = SEE 12, T23 = SEE 6,

SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira, SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida

Continuación del Cuadro 21.

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen del aislado	Suelo sano de parcela orgánica “San Antonio”	T24 = SSSA 42, T25 = SSSA 37, T26 = SSSA 38, T17 = SSSA 44, T28 = SSSA 39
	Suelo enfermo de parcela orgánica “San Antonio	T29 = SESA 18, T30 = SESA 23, T31 = SESA 19, T32 = SESA 32, T33 = SESA 31, T34 = SESA 41 y T35 = SESA 36
	Lixiviado de vermicomposta con residuos de aguacate convencional (VRAC)	T36 = LC 27, T37 = LC 30, T38 = LC 3, T39 = LC 25 y T40 = LC 26
	Intestino de <i>E. foetida</i> de VRAC	T47 = IC 51, T42 = IC 52, T43 = IC 53, T44 = IC 54, T45 = IC 59, T46 = IC 61, T47 = IC 62, T48 = IC 79, T49 = IC 80.
	Piel de <i>E. foetida</i> de VRAC	T50 = PC 65, T51 = PC 66, T52 = PC 67, T53 = PC 69, T54 = PC 77, T55 = PC 78, T56 = PC 85, T57 = PC 86, T58 = PC 87, T59 = PC 88 y T60 = PC 89
	Vermicompost de VRAC	T61 = VC 90, T62 = VC 91, T63 = VC 92, T64 = VC 93, T65 = VC 94, T66 = VC 95, T67 = VC 96, T68 = VC 97, T69 = VC 98 y T70 = VC 99
	Lixiviado de vermicomposta de residuos de aguacate orgánico (VRAO)	T71 = LO 29, T72 = LO 22, T73 = LO 1, T74 = LO 20 y T75 = LO28
	Intestino de <i>E. foetida</i> de VRAO	T76= IO 55, T77 = IO 56, T78 = IO 57, T79 = IO 58, T80 = IO 60, T81 = IO 82, T82 = IO 83 y T83 = IO 84.

SSSA = suelo sano san Antonio, SESA = suelo enfermo san Antonio; LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional. PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional, LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 21.

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen del aislado	Piel de <i>E. foetida</i> de VRAO	T84 = PO 63, T85 = PO 64, T86 = PO 68, T87 = PO 70, T88 = 71, T89 = PO 72, T90 = 73, T91 = PO 74, T92 = PO 75 y T93 = PO 76
	Vermicompost de VRAO	T94 = VO 100, T95 = VO 101, T96 = VO 102, T97 = VO 103, T98 = VO 104, T99 = VO 105, T100 = VO 106, T101 = VO 107, T102 = VO 108 y T103 = VO 109
	Control	T14 = sin inocular

PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica, VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica. VRAO = vermicomposta con residuos de aguacate orgánico; VRAC = vermicomposta con residuos de aguacate convencional.

Establecimiento del experimento.

Se pusieron a germinar las semillas de *S. lycopersicum* en vermiculita estéril, posteriormente las plántulas se trasplantaron en charolas germinadoras con una mezcla de 50:20:30 de suelo de la Parcela “El Zapote”, arena y vermiculita la cual se esterilizó en la autoclave a 121°C durante 3 h.

Preparación de los inóculos bacterianos

Se prepararon los inóculos con una asada de la colonia bacteriana en caldo nutritivo y se dejaron en agitación por 18 h a 32°C, pasado este tiempo se midió la densidad óptica a 600 nm de cada bacteria y se inocularon 1×10^8 UFC/mL en el tallo de *S. lycopersicum*, la inoculación se realizó cada ocho días durante un mes (Hernández *et al.*, 2022).

Variables respuesta

Después de cuatro inoculaciones, se realizó un muestreo destructivo de las plántulas y se evaluó la altura de planta (AP), longitud radical (LR), diámetro del tallo (DM), número de hojas (NH), peso fresco y seco total (PFT/PST).

7.3.4.3. Evaluación de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en *S. lycopersicum*

Se tomaron siete aislados bacterianos de suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico que tuvieron el valor más alto de solubilización de fosfato y calcio, actividad fosfatasa y fijación biológica de nitrógeno. Para esta fase experimental consistió en un diseño experimentan completamente al azar (Cuadro 22). Como medio de crecimiento de las plántulas de jitomate se utilizó un suelo de la parcela “El Zapote” y se mandó a esterilizar al laboratorio de Agroecología de la UNAM campus Morelia por 5 días a 121°C. Se prepararon macetas con 1 kg de suelo; posteriormente los aislados bacterianos se reprodujeron en agar nutritivo (AN) con la siguiente composición química (g/L): peptona de caseína 5; extracto de levadura 3; agua destilada, ajustado el medio de cultivo a pH $6,8 \pm 0,2$; con el anti-fúngico Tecto®60 (Syngenta) se incubaron a 30°C/ 36 h. Para la inoculación las semillas de *S. lycopersicum* se desinfectaron con NaClO (hipoclorito de sodio) al 5% por 5 min, después se enjuagaron 5 veces con agua corriente estéril; se desinfectaron en alcohol al 70 % por 5 min y finalmente se lavaron 5 veces con agua estéril. Se inoculó 1×10^8 UFC/mL (Sánchez *et al.*, 2014) por cada 10 semillas, se dejaron en agitación por 40 min, después de ese tiempo se realizó la siembra en las macetas. Posteriormente se inoculó cada quince días durante dos meses y medio. Como variables respuesta a los 15 días posteriores a la siembra se midió el porcentaje de germinación y a los 40 días el número de flores.

Cuadro 22. Diseño experimental para evaluar los aislados de suelo de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico

<i>Solanum lycopersicum</i>	Mejores aislados fijadores de nitrógeno	Mejores aislados solubilizadores de fosfato	Mejores aislados solubilizadores de calcio
Tratamiento 1	SSSA 39	SESA 32	SSSA 42
Tratamiento 2	SEE 8	SSSA 39	SESA 32
Tratamiento 3	SEE 9	SSZ 40	SEZ 11
Tratamiento 4	SSSA 39, SEE 8 y SEE 9		
Tratamiento 5	SESA 32, SSSA 39 y SSZ 40		
Tratamiento 6	SSSA 42, SESA 32 y SEZ 11		
Tratamiento 7	Control absoluto (agua)		
Tratamiento 8	Control químico Solución nutritiva Hoagland 50%		
Tratamiento 9	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Azotobacter vinelandii</i> y <i>Azospirillum brasilense</i>		
Tratamiento 10	Producto de base comercial de <i>Pseudomona</i> sp		

SSSA 39, SSSA 42 = aislados de suelos de árboles productores de parcela orgánica “San Antonio”; SESA 32 = aislado de suelos de árboles poco productores de parcela orgánica “San Antonio”; SEE 8, SEE 9 = aislados de suelos de árboles poco productores de parcela orgánica “La Escondida”; SSZ 40= aislado de suelos de árboles productores de parcela convencional “El Zapote”; SEZ 11 = aislado de suelos de árboles poco productores de parcela convencional “El Zapote”

7.3.4.4. Análisis estadístico

Los datos se les realizó pruebas de distribución normal, homocedasticidad de varianzas para cumplir los criterios y se realizaron ANOVAS para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos, se utilizó la prueba múltiple de medias de Dunnett Statistical Software 22 y Tukey (P<0.05) con el paquete estadístico Statgraphics XV (2005).

7.3.5. Resultados y discusión

7.3.5.1. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA)

a) Solubilización de fosfato

En el Cuadro 23, se muestra que de los 108 ABDA solo 12 bacterias solubilizaron fosfato, una de suelos de árboles sanos de la parcela convencional “El Zapote”, tres aislados de suelos sanos y cinco de suelos enfermos de la parcela orgánica “San Antonio”, una del lixiviado de vermicomposta de residuos de aguacate convencional (VRAC) y dos de la piel de *E. foetida* de vermicomposta de residuos de aguacate orgánico (VRAO). El aislado de los suelos de árboles sanos de la parcela orgánica “San Antonio” se encontró una bacteria con clave SESA32 que registró 4.32 de índice de solubilización de fosfato (ISF), valor estadísticamente superior al 2.46 ISF de *B. thuringiensis* que fue el control positivo, mientras los aislados SSZ 40, SESA 39 y LC 26 registraron 3.15, 3.5 y 3.37 de ISF, en tanto las bacterias SSSA 37, SSSA 44, SESA 18, SESA 31, SESA 41, SESA 36, PO 72 y PO 74 registraron 2.15, 2.42, 2.5, 2.75, 2.97, 2.92, 2.47, 2.95 de ISF y estadísticamente fueron iguales a *B. thuringiensis*. Lo anterior nos demuestra que, en los ambientes de suelos de parcelas convencionales, orgánicos y de las vermicompostas si se encuentran bacterias que solubilicen el fosfato, pero en el ambiente de suelos orgánicos y vermicompostas fueron ocho las bacterias que solubilizaron fosfato, esto se debe a que en el manejo agronómico orgánico (MAO) no añaden fertilizantes fosforados inorgánicos al suelo y las bacterias tienen la necesidad de activar el mecanismo de la solubilización. Este mecanismo consiste en que las bacterias liberan ácidos orgánicos como el ácido glucónico o 2-cetogluconico, capaces de quelatar el fósforo biodisponible en el suelo utilizando sus radicales hidroxilo y carboxilo, donde la producción de estos ácidos es variable y depende de los exudados de la raíz (Molina-Romero *et al.*, 2015 y Oteino *et al.*, 2015). En el caso de la solubilización de fosfato del aislado LC 26 de VRAC se debió a que en los lixiviados se encuentran partículas de humus, el cual es una forma en la que se encuentra el fosfato de manera orgánica. Lo anterior concuerda con Dass *et al.* (2016), ellos realizaron una vermicomposta con residuos de paja de arroz donde estudiaron las propiedades químicas y bioquímicas del humus. Observaron que por el contenido de bacterias que contenía se incrementó el fósforo disponible en el vermicompost.

b) Actividad fosfatasas ácidas y alcalinas

En esta investigación la actividad fosfatasa ácida (AFAC) y alcalina (AFAL) solo se les realizó a 12 aislados que solubilizaron fosfato. En el Cuadro 23, se observa que en la actividad de AFAC el aislado con clave SSZ 40 registró 18.57 $\mu\text{g/mL}$ del P- nitrofenilfosfato (PNF), la bacteria SSSA 39 arrojó 15.87 $\mu\text{g/mL}$ del PNF y el aislado que registro el valor de 4.32 del ISF liberó 14.61 $\mu\text{g/mL}$ del PNF, estos valores numéricos fueron estadísticamente diferentes con el 10.22 $\mu\text{g/mL}$ del PNF de *B. thuringiensis*. Mientras en la AFAL los aislados LC 26 registró 16.13 $\mu\text{g/mL}$ del PNF, SSSA 39 y SESA 31 registraron 13.76 $\mu\text{g/mL}$ y 14.68 $\mu\text{g/mL}$ de PNF, valores estadísticamente diferentes a 3.95 $\mu\text{g/mL}$ de PNF de *B. thuringiensis*. Lo anterior indicó que la actividad fosfatasa hidrolizó esterés y anhídridos de H_3PO_4 , los cuales, son responsables de la mineralización del fósforo orgánico del suelo y de la liberación del fósforo inorgánico necesario para las plantas (Pineda, 2014; Torres., 2016). Estos resultados concuerdan con los de Yoshioka et al. (2006), donde evaluaron actividad fosfatasa del suelo de un cultivo convencional de plátano donde realizaron fertilización química cada dos meses con utilizaron pesticidas y los compararon con la actividad fosfatasa de cultivo orgánico donde aplican abonos como compostas. Ellos encontraron una actividad de fosfatasa ácida de 417 $\mu\text{g/ha}$ de PNF en el cultivo convencional, este valor es estadísticamente a 386 $\mu\text{g/ha}$ de PNF del cultivo orgánico, registraron que una actividad enzimática se representó con un 85 % por la actividad fosfatasa ácida y un 15 % en la fosfatasa alcalina; concluyeron con que la síntesis y actividad de estas enzimas están ligadas al pH o del ambiente donde se encuentren las bacterias (López et al., 2019).

c) Solubilización de calcio

En el Cuadro 23, se observa que de las 108 ABDA, solo 18 bacterias solubilizaron calcio, dos aislados de suelos sanos y enfermos (SSYE) de la parcela convencional “El Zapote”, seis de SSYE de la parcela orgánica “San Antonio”, dos del lixiviado y tres del vermicompost de VRAC, dos del lixiviado y tres de la piel de *E. foetida* de la VRAO. El aislado LC 26 del lixiviado de VRAC registró 7.60 del índice de solubilización de calcio (ISC) seguido de la bacteria SESA 42 que obtuvo 6.33 del ISC, estos valores fueron estadísticamente diferentes al 2.93 ISC de *B. thuringiensis*, lo anterior posiblemente fue porque esos aislados bacterianos produjeron mayor cantidad de ácido glucónico que le ayudó a separar el calcio de otros

elementos (Paredes-Mendoza y Espinoza-Victoria *et al.*, 2010), también cabe mencionar que en análisis fisicoquímico del suelo de la parcela de “San Antonio” (Anexo 1), se reportó un nivel de calcio moderadamente alto, el cual, contribuye que es una parcela con manejo orgánico y no aplican ninguna fuente de calcio disponible para las plantas, solo aplican enmiendas orgánicas y lixiviado que poseen calcio, por lo que, por medio de la acción solubilizadora de las bacterias es una opción para que las plantas lo puedan absorber y optimizar.

d) Fijación biológica de nitrógeno

Para la fijación de nitrógeno en el Cuadro 23, se muestra que de los 108 ABDA solo 31 bacterias produjeron más de 100 ppm de NO_3^- , que fueron SSE 14, SSE 16 SEE 8, SEE 9, SEE 10, SEE 12 de SSYE de la parcela “La Escondida” registraron 115.5, 104, 157.5, 139.25, 120.75, 136.5 ppm de NO_3^- respectivamente, mientras que las bacterias SSSA 42, SSSA 37, SSSA 38, SSSA 44, SSSA 39, SESA 18, SESA 23, SESA 19, SESA 32, SESA 31, SESA 41 y SESA 36 de SSYE de la parcela “San Antonio” registraron 127.5, 106, 117.5, 119.5, 162.5, 114, 123.75, 106, 127.5, 134.75, 107 ppm de NO_3^- respectivamente. Los aislados LC 27, LC 30, LC 25, LC 26 y VC 96 del lixiviado y vermicompost de la VRAC reportaron 165, 202, 142, 175 ppm de NO_3^- y los aislados LO 29, LO 22, LO 20, LO 28, VO 100, VO 111, VO 112 y VO 113 del lixiviado y vermicompost de la VRAO registraron 185, 127, 136, 122 y 123 ppm de NO_3^- respectivamente. Los valores anteriores fueron estadísticamente diferente a 65 ppm de NO_3^- de la cepa control que fue *Azotobacter vinelandii*, este género se caracteriza por ser de las bacterias con mayor potencial para la fijación biológica de nitrógeno (Noar *et al.*, 2018). Los aislados bacterianos de la parcela convencional “El Zapote” registraron valores menores al 70 ppm de NO_3^- , de la parcela convencional “La Tira” los aislados arrojaron valores inferiores al 90 ppm de NO_3^- . En el caso de los aislados de intestino de *E. foetida* de las VRAC y VRAO registraron datos numéricos menores al 60 ppm de NO_3^- y de las bacterias aisladas de la piel de *E. foetida* de ambas vermicompostas los valores de NO_3^- fueron menor al 90 ppm. Lo anterior nos mostró que los aislados bacterianos de suelos de MAO, lixiviados y vermicompost de ambas vermicompostas fueron abundantes en la fijación biológica de nitrógeno debido a que en los cultivos de MAO no se aplican fertilizantes químicos nitrogenados a base de urea y nitrato

de amonio; lo que aplican son enmiendas orgánicas altas en carbono que es lo que necesitan las bacterias para liberar el nitrógeno fijado y productos a base de microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico (Igiehon & Babalola, 2019). Los resultados anteriores concuerdan con lo mencionado por Hirano et al. (2001), donde aislaron rizobacterias de suelos de cultivos de arroz de manejo orgánico y encontraron un número de 114.6×10^6 UFC/g y calcularon un 21.6×10^6 UFC/g de las bacterias que fijaron nitrógeno mientras en el cultivo convencional registraron 17.2×10^6 UFC/g y 2.5×10^6 UFC/g de bacterias fijadoras de nitrógeno. Mientras que los aislados de lixiviados y vermicompost de VRAC y VRAO produjeron arriba de 120 ppm de NO_3^- , lo anterior evidencio que los residuos vegetales no influyeron en los NO_3^- producidos por los aislados bacterianos del lixiviado y vermicompost; lo que dependerá del proceso de precomposteo que tengan los residuos vegetales y el estiércol ya que en Capitulo 2 se mencionó que los residuos de aguacate añadidos a las vermicompostas fueron completamente secos, lo que pudo ocasionar que las bacterias oxidaran el nitrógeno (González-Marques *et al.*, 2021).

Cuadro 23. Determinación del potencial biológico de los aislados bacterianos de suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato ($\mu\text{g/mL}$) ácidas	P-nitrofenilfosfato ($\mu\text{g/mL}$) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO_3^- ppm
Parcela El Zapote convencional	Árboles	SSZ 13	-	-	-	2.77 ^b	67 ^b
	Sanos	SSZ 15	-	-	-	-	64 ^b
		SSZ 40	3.15 ^b	15.87^a	8.48 ^b	-	73 ^b
	Árboles	SEZ 7	-	-	-	-	70 ^b
	Enfermos	SEZ 4	-	-	-	-	71 ^b
		SEZ 11	-	-	-	3.05 ^b	85.5 ^b
	Árboles	SST 33	-	-	-	-	96.75 ^b
	Sanos	SST 21	-	-	-	-	73 ^b
		SST 34	-	-	-	-	74 ^b
		SST 45	-	-	-	-	39 ^b
Parcela La Tira convencional	Árboles	SET 35	-	-	-	-	63 ^b
	Enfermos	SET 17	-	-	-	-	66 ^b
		SET 24	-	-	-	-	73 ^b
		SET 2	-	-	-	-	42 ^b
		SET 43	-	-	-	-	70 ^b

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett $P < 0.05$). (-) = no aplica. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira.

Continuación del Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidas	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO₃⁻ ppm
	Árboles	SSE 14	-	-	-	-	115.5^a
	Sanos	SSE 5	-	-	-	-	57^b
Parcela La Escondida		SSE 16	-	-	-	-	104^a
Orgánica	Árboles	SEE 8	-	-	-	-	157.5^a
	Enfermos	SEE 9	-	-	-	-	139.25^a
		SEE 10	-	-	-	-	120.75^a
		SEE 12	-	-	-	-	136.5^a
		SEE 6	-	-	-	-	72^b
	Árboles	SSSA 42	-	-	-	6.33^a	127.5^a
	Sanos	SSSA 37	2.15 ^b	11.14 ^b	12.78 ^b	1.97 ^b	106^a
		SSSA 38	-	-	-	-	117.5^a
Parcela San Antonio		SSSA 44	2.42 ^b	13.05 ^b	11.57 ^b	-	119.75^a
orgánica		SSSA 39	3.5 ^b	15.88^a	13.76^a	2.85 ^b	162.5^a
	Árboles	SESA 18	3.25 ^b	12.96 ^b	8.41 ^b	-	114^a
	Enfermos	SESA 23	-	-	-	-	123.75^a
		SESA 19	-	-	-	-	106^a

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio

Continuación del Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidas	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm
Parcela San Antonio		SESA 32	4.32^a	14.64^a	11.91 ^b	4.05 ^b	127.5^a
Orgánica	Árboles	SESA 31	2.75 ^b	12.14 ^b	14.68^a	2.67 ^b	134.75^a
	Enfermos	SESA 41	2.97 ^b	13.03 ^b	6.56 ^b	-	132.5^a
		SESA 36	2.92 ^b	13.08 ^b	12.58 ^b	2.22 ^b	107^a
Vermicomposta con residuos de aguacate convencionales	Lixiviado	LC 27	-	-	-	-	165^a
		LC 30	-	-	-	-	202^a
		LC 3	-	-	-	-	83 ^b
		LC 25	-	-	-	5.0 ^b	142^a
		LC 26	3.37 ^b	5.53 ^b	16.13^a	7.60^a	175^a
	Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 51	-	-	-	-	46 ^b
		IC 52	-	-	-	-	45 ^b
		IC 53	-	-	-	-	51 ^b
		IC 54	-	-	-	-	48 ^b
		IC 59	-	-	-	-	48 ^b
		IC 61	-	-	-	-	48 ^b

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. SESA = suelo enfermo san Antonio; LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional

Continuación del Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidas	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm	
Vermicomposta con residuos de aguacate convencionales	Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 62	-	-	-	-	51 ^b	
		IC 79	-	-	-	-	51 ^b	
		IC 80	-	-	-	-	57 ^b	
	Piel de <i>E. foetida</i>	PC 65	-	-	-	-	82 ^b	
		PC 66	-	-	-	-	81 ^b	
		PC 67	-	-	-	-	59 ^b	
			PC 69	-	-	-	-	60 ^b
			PC 77	-	-	-	-	57 ^b
			PC 78	-	-	-	-	56 ^b
			PC 81	-	-	-	-	61 ^b
			PC 85	-	-	-	-	69 ^b
			PC 86	-	-	-	-	67 ^b
			PC 87	-	-	-	-	67 ^b
			PC 88	-	-	-	-	65 ^b
			PC 89	-	-	-	-	61 ^b
Vermicompost		VC 90	-	-	-	-	90 ^b	
		VC 91	-	-	-	-	71 ^b	

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. IC = intestino de *E. foetida* convencional; PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional

Continuación Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidos	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm
Vermicomposta residuos de aguacate convencionales	Vermicompost	VC 92	-	-	-	-	82 ^b
		VC 93	-	-	-	-	81 ^b
		VC 94	-	-	-	-	80 ^b
		VC 95	-	-	-	-	91 ^b
		VC 96	-	-	-	2.15 ^b	107^a
		VC 97	-	-	-	2.22 ^b	92 ^b
		VC 98	-	-	-	3.95 ^b	91 ^b
		VC 99	-	-	-	-	83 ^b
Vermicomposta residuos de aguacate orgánicos	Lixiviado	LO 29	-	-	-	-	185^a
		LO 22	-	-	-	-	185^a
		LO 1	-	-	-	-	80 ^b
		LO 20	-	-	-	3.68 ^b	142^a
		LO 28	-	-	-	2.32 ^b	185^a
	Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 55	-	-	-	-	59 ^b
		IO 56	-	-	-	-	63 ^b
		IO 57	-	-	-	-	53 ^b

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. VC = vermicompost convencional; LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidas	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm
		IO 58	-	-	-	-	60 ^b
		IO 60	-	-	-	-	50 ^b
	Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 82	-	-	-	-	49 ^b
		IO 83	-	-	-	-	57 ^b
		IO 84	-	-	-	-	50 ^b
		PO 63	-	-	-	-	72 ^b
		PO 64	-	-	-	-	89 ^b
Vermicomposta residuos de aguacate orgánicos		PO 68	-	-	-	-	85 ^b
		PO 70	-	-	-	3.02 ^{cd}	77 ^b
		PO 71	-	-	-	-	74 ^b
		PO 72	2.47 ^b	14.04 ^b	9.62 ^b	-	76 ^b
		PO 73	-	-	-	2.35 ^d	93 ^b
		PO 74	2.95 ^b	14.40 ^b	10.88 ^b	2.75 ^d	90 ^b
		PO 75	-	-	-	-	83 ^b
		PO 76	-	-	-	-	72 ^b

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidos	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm
		VO 100	-	-	-	-	127^a
		VO 101	-	-	-	-	58 ^b
		VO 102	-	-	-	-	55 ^b
		VO 103	-	-	-	-	60 ^b
		VO 104	-	-	-	-	65 ^b
		VO 105	-	-	-	-	63 ^b
		VO 106	-	-	-	-	61 ^b
Vermicomposta	Vermicompost	VO 107	-	-	-	-	93 ^b
residuos de		VO 108	-	-	-	-	73 ^b
aguacate		VO 109	-	-	-	-	85 ^b
orgánicos		VO 110	-	-	-	-	82 ^b
		VO 111	-	-	-	-	136^a
		VO 112	-	-	-	-	122^a
		VO 113	-	-	-	-	123^a

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

Continuación Cuadro 23.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Índice de solubilización de fosfato	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) ácidas	P-nitrofenilfosfato (µg/mL) alcalinas	Índice de solubilización de calcio	Fijación de nitrógeno atmosférico en NO ₃ ⁻ ppm
Cepas control	<i>Azotobacter vinelandii</i>	BV696	-	-	-	-	65 ^b
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	BT154	2.46 ^b	10.22 ^b	3.95 ^b	2.9 ^b	-

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica

7.3.5.2. Evaluación de los ABDA en *Solanum lycopersicum*

En el Cuadro 24, se muestra la efectividad biológica de 103 ABDA en *S. lycopersicum*, en la altura de la planta (AP) inoculada con los aislados de VRAC y VRAO: VC 99, VC 97, VO 109 registraron 18.87, 17.75, 18.41 y 18 cm de AP respectivamente, valores estadísticamente diferentes a 4.90 cm de AP de *S. lycopersicum* sin inocular; mientras las plantas inoculadas con los aislados bacterianos de suelos de parcelas de aguacate con MAC, MAO y de lixiviado, intestino y piel de *E. foetida* de VRAC y VRAO tuvieron valores inferiores a los 9 cm de AP. En la longitud radical (LR) de *S. lycopersicum* inoculada con el aislado VO 100 de la VRAO, registró 13.29 cm de LR, seguido de la LR superior a 10 cm que registraron las plantas con la inoculación de los aislados de vermicompost de la VRAC, mientras *S. lycopersicum* inoculada con los aislados de intestino, piel de *E. foetida* de ambas vermicompostas registraron valores inferiores a 11 cm de LR, en tanto, la respuesta de la planta a la inoculación de las bacterias aisladas de los lixiviados de VRAC, VRAO y suelos de parcelas de aguacate con MAC y MAO, reportaron datos numéricos inferiores a 8 cm de LR. En el caso del diámetro del tallo de las plantas inoculadas con las bacterias aisladas de vermicompost e intestino de *E. foetida*: VO 96, VO 98, IO 82, IO 83, IO 84 registraron 2.04, 2.07, 2.08, 2.12, 2.07 mm de diámetro del tallo, datos estadísticamente similares con 1.91, 1.95 y 1.90 mm del tallo de *S. lycopersicum* inoculada con los aislados SST 45, SET 43 e IO 55 de origen de SSYE de la parcela convencional “La Tira” e intestino de *E. foetida* de la VRAO, los datos numéricos anteriores fueron estadísticamente diferente a 1.08 mm del diámetro del tallo de *S. lycopersicum* sin inocular. En el número (Núm) de hojas, las plantas inoculadas con los aislados VC 97, VC 98, VC 99, VC 96, VO 100, VO 101, VO 106, VO 108 y VO 109 registraron 11 y 10 No de hojas, valores estadísticamente diferentes al 5 Núm. de hojas de las plantas control sin inocular, posteriormente la respuesta de *S. lycopersicum* a la inoculación con los aislados de suelos de parcelas de aguacate de MAC, MAO, lixiviado, piel e intestino de *E. foetida* de VRAC y VRAO el Núm. de hojas fue inferior a 6. Mientras las plantas inoculadas con los aislados VC 96, VC 98, VC 99, VO 100, VO 105 y VO 109 de ambas vermicompostas registraron 1.070, 1.759, 1.058, 1.066, 1.283, 1.033 g de peso fresco total (PFT), respectivamente en *S. lycopersicum*, datos numéricos estadísticamente diferentes a los valores inferiores de 0.600 g de las plantas con la inoculación de los aislados de suelos de parcelas de aguacate con MAC, MAO, lixiviado, intestino y piel de VRAC y

VRAO; por lo anterior, los datos anteriores tuvieron diferencia estadística con el 0.255 g de PFT de la planta sin inocular. La respuesta de *S. lycopersium* a la inoculación de los aislados VC 96, VC 99, VC 98 y VO 104 de VRAC y VRAO registraron 0.151, 0.134, 0.166 y 0.135 g de peso seco total (PST), respectivamente, en tanto estos valores fueron estadísticamente diferentes a los valores menores al 0.070 g de PST que registraron las plantas inoculadas con los aislados de suelo de parcelas de aguacate de MAC, MAO, lixiviado, intestino, piel de *E. foetida* de VRAC y VRAO, por lo anterior, estos datos tuvieron diferencia estadística con el 0.026 g de PST de *S. lycopersicum* sin inocular. Lo anterior indicó que los aislados del vermicompost de VRAO y VRAC incrementaron el crecimiento de *S. lycopersicum* debido a la solubilización de fosfato, calcio y fijación biológica de nitrógeno (Doan *et al.*, 2013; Arraktham *et al.*, 2016). Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Pathma y Sakthivel (2013), que evaluaron aislados bacterianos del humus de lombricomposta a base de paja y estiércol bovino, las cuales, presentaron solubilización de fósforo, calcio y producción de ácido indol acético que es una fitohormona clasificada en el grupo de las auxinas que interviene en la división celular. En la Figura 24l, se presentó a *S. lycopersicum* inoculada con los aislados del vermicompost de VRAC y la Figura 24o, es la planta inoculada con aislados del vermicompost de VRAO, las plantas presentan mayor número de hojas y sistema radical, comparadas con la Figura 24p, que es de *S. lycopersicum* sin inocular donde se observaron plantas con número de hojas, AP y LR.

Cuadro 24. Efectividad biológica de los aislados bacterianos de diferentes ambientes en la promoción del crecimiento vegetal de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de invernadero.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Parcela El Zapote convencional	Árboles	SSZ 13	4.77 ^m	7.64 ^d	1.50 ^b	3 ^h	0.301 ^{de}	0.043 ^f
	Sanos	SSZ 15	5.33 ^l	6.02 ^e	1.57 ^b	6 ^e	0.194 ^f	0.039 ^{fg}
		SSZ 40	5.9 ^l	4.05 ⁱ	1.46 ^b	5 ^f	0.270 ^e	0.061 ^d
		Árboles	SEZ 7	4.42 ^m	6.33 ^e	1.67 ^b	3 ^h	0.271 ^e
	Enfermos	SEZ 4	4.78 ^m	5.08 ^f	1.46 ^b	6 ^e	0.212 ^e	0.027 ^h
SEZ 11		5.15 ^l	5.70 ^f	1.83 ^b	5 ^f	0.385 ^d	0.052 ^e	
Parcela La Tira convencional	Árboles	SST 33	5.09 ^l	5.22 ^f	1.73 ^b	5 ^f	0.250 ^e	0.041 ^f
	Sanos	SST 21	5.04 ^l	4.09 ^{gh}	1.77 ^b	5 ^f	0.202 ^{ef}	0.027 ^h
		SST 34	5.05 ^l	5.19 ^f	1.57 ^b	5 ^f	0.174 ^f	0.027 ^h
		SST 45	5.65 ^l	4.6 ^g	1.91 ^{ab}	5 ^f	0.234 ^e	0.033 ^g
		Árboles	SET 35	4.91 ^m	3.86 ⁱ	1.72 ^b	4 ^g	0.229 ^e
	Enfermos	SET 17	5.40 ^l	5.70 ^f	1.57 ^b	5 ^f	0.236 ^e	0.041 ^f
		SET 24	4.59 ^m	4.25 ^g	1.66 ^b	6 ^e	0.304 ^{de}	0.053 ^e
		SET 2	5.15 ^l	4.60 ^g	1.62 ^b	6 ^e	0.223 ^e	0.034 ^g
		SET 43	6.33 ^k	5.08 ^f	1.95 ^{ab}	6 ^e	0.377 ^d	0.061 ^d

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira.

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta Cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Parcela La	Árboles	SSE 14	4.36 ^{mn}	5.56 ^f	1.76 ^b	4 ^g	0.187 ^f	0.035 ^g
Escondida	Sanos	SSE 5	4.74 ^m	6.91 ^{de}	1.83 ^b	4 ^g	0.327 ^d	0.040 ^f
Orgánica		SSE 16	5.14 ^l	5.58 ^f	1.66 ^b	6 ^e	0.220 ^e	0.032 ^g
	Árboles	SEE 8	4.96 ^m	4.75 ^g	1.88 ^b	6 ^e	0.269 ^e	0.043 ^f
	Enfermos	SEE 9	4.79 ^m	4.42 ^g	1.41 ^b	3 ^h	0.272 ^e	0.056 ^e
		SEE 10	4.32 ⁿ	5.49 ^f	1.77 ^b	4 ^g	0.275 ^e	0.048 ^f
		SEE 12	4.63 ^m	6.56 ^e	1.61 ^b	6 ^e	0.222 ^e	0.025 ^h
		SEE 6	4.75 ^m	6.34 ^e	1.82 ^b	4 ^g	0.301 ^{de}	0.069 ^c
Parcela San Antonio orgánica	Árboles	SSSA 42	6.55 ^k	5.51 ^f	1.52 ^b	5 ^f	0.329 ^d	0.054 ^e
Sanos	SSSA 37	2.15 ^b	5.91 ^{ef}	1.70 ^b	6 ^e	0.443 ^c	0.062 ^d	
	SSSA 38	6.99 ^k	5.25 ^f	1.54 ^b	4 ^g	0.402 ^c	0.065 ^{cd}	
	SSSA 44	2.42 ^b	4.65 ^g	1.51 ^b	4 ^g	0.344 ^d	0.055 ^e	
	SSSA 39	3.5 ^b	4.64 ^g	1.57 ^b	4 ^g	0.340 ^d	0.045 ^f	
	Árboles	SESA 18	3.25 ^b	6.06 ^e	1.60 ^b	5 ^f	0.224 ^e	0.108 ^b
	Enfermos	SESA 23	6.54 ^k	7.95 ^{cd}	1.35 ^b	5 ^f	0.324 ^d	0.032 ^g
SESA 19		5.79 ^l	6.65 ^e	1.57 ^b	5 ^f	0.244 ^e	0.028 ^h	

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio.

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Parcela San Antonio		SESA 32	5.70 ^l	6.28 ^c	1.70 ^b	5 ^f	0.402 ^c	0.041 ^f
Orgánica	Árboles	SESA 31	2.75 ^b	7.12 ^c	1.58 ^b	6 ^e	0.348 ^d	0.026 ^h
	Enfermos	SESA 41	2.97 ^b	4.09 ^{gh}	1.53 ^b	5 ^f	0.246 ^e	0.039 ^{fg}
		SESA 36	2.92 ^b	4.91 ^{fg}	1.60 ^b	5 ^f	0.332 ^d	0.038 ^g
Vermicomposta con residuos de aguacate convencionales	Lixiviado	LC 27	5.15 ^l	6.53 ^e	1.69 ^b	4 ^g	0.345 ^d	0.026 ^h
		LC 30	5.36 ^l	5.95 ^{ef}	1.47 ^b	4 ^g	0.247 ^e	0.035 ^g
		LC 3	4.67 ^m	5.15 ^f	1.75 ^b	3 ^h	0.626 ^c	0.028 ^h
		LC 25	4.32 ⁿ	6.01 ^e	1.78 ^b	6 ^e	0.198 ^f	0.030 ^g
		LC 26	7.73 ^m	5.30 ^f	1.6 ^b	4 ^g	0.271 ^e	0.045 ^f
	Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 51	6.67 ^k	5.33 ^f	1.75 ^b	4 ^g	0.286 ^e	0.058 ^{de}
		IC 52	7.05 ^j	4.84 ^{fg}	1.77 ^b	5 ^f	0.307 ^{de}	0.054 ^e
		IC 53	7 ^j	5.89 ^f	1.72 ^b	5 ^f	0.310 ^d	0.050 ^e
		IC 54	6.41 ^k	6 ^e	1.66 ^b	4 ^g	0.270 ^e	0.042 ^f
		IC 59	6.75 ^k	6.83 ^e	1.66 ^b	5 ^f	0.286 ^e	0.048 ^f
		IC 61	5.87 ^l	7.87 ^{cd}	1.66 ^b	4 ^g	0.387 ^d	0.063 ^d

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). SESA = suelo enfermo san Antonio; LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Vermicomposta con residuos de aguacate convencionales	Intestino de <i>E. foetida</i>	IC 62	6.15 ^k	6.67 ^e	1.63 ^b	4 ^g	0.237 ^e	0.059 ^{de}
		IC 79	6.87 ^k	6.70 ^e	1.74 ^b	5 ^f	0.332 ^d	0.044 ^f
		IC 80	6.40 ^k	5.52 ^f	1.80 ^b	5 ^f	0.349 ^d	0.052 ^e
	Piel de <i>E. foetida</i>	PC 65	5.95 ^l	8.79 ^{bc}	1.77 ^b	3 ^h	0.385 ^d	0.057 ^e
		PC 66	6.20 ^k	7.45 ^d	1.47 ^b	4 ^g	0.187 ^f	0.032 ^g
		PC 67	6.54 ^k	8.91 ^{bc}	1.88 ^b	5 ^f	0.442 ^c	0.075 ^c
		PC 69	6.20 ^k	9.12 ^b	1.88 ^b	4 ^g	0.371 ^d	0.057 ^e
		PC 77	5.75 ^l	7.58 ^d	1.65 ^b	4 ^g	0.338 ^d	0.049 ^f
		PC 78	5.86 ^l	8.72 ^{bc}	1.88 ^b	4 ^g	0.341 ^d	0.053 ^e
		PC 85	4.58 ^m	5.10 ^f	1.43 ^b	5 ^f	0.098 ^g	0.017 ⁱ
		PC 86	7.45 ^j	7.79 ^{cd}	1.43 ^b	5 ^f	0.345 ^d	0.050 ^f
		PC 87	6.62 ^k	9.79 ^b	1.36 ^b	4 ^g	0.341 ^d	0.049 ^f
		PC 88	7.25 ^j	8.12 ^c	1.4 ^b	5 ^f	0.366 ^d	0.062 ^d
		PC 89	6.62 ^k	7.20 ^d	1.44 ^b	3 ^h	0.322 ^d	0.049 ^f
		Vermicompost	VC 90	14.25 ^d	6.87 ^{de}	1.46 ^b	7 ^c	0.329 ^d
VC 91	12.29 ^g		5.83 ^f	1.21 ^{bc}	6 ^e	0.228 ^e	0.023 ^h	

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). IC = intestino de *E. foetida* convencional; PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Vermicomposta de residuos de aguacate convencionales	Vermicompost	VC 92	11.83 ^{gh}	6.12 ^e	1.25 ^{bc}	6 ^e	0.247 ^e	0.030 ^g
		VC 93	12.68 ^f	6.95 ^{de}	1.17 ^{bc}	6 ^e	0.215 ^e	0.021 ^h
		VC 94	6.68 ^k	5.22 ^f	1.78 ^b	5 ^f	0.231 ^e	0.033 ^g
		VC 95	6.37 ^k	6 ^e	1.45 ^b	5 ^f	0.211 ^e	0.033 ^g
		VC 96	11.33 ^h	9.66 ^b	2.04^a	10^a	1.071^a	0.151^a
		VC 97	17.75 ^b	8.20 ^c	1.72 ^b	11^a	0.737 ^{bc}	0.106 ^b
		VC 98	12.08 ^g	10.79 ^{ab}	2.07^a	11^a	1.159^a	0.166^a
		VC 99	18.87^a	9.08 ^b	1.66 ^b	11^a	1.058^a	0.134^a
Vermicomposta de residuos de aguacate orgánicos	Lixiviado	LO 29	5.55 ^l	5.85 ^f	1.68 ^b	5 ^f	0.370 ^d	0.034 ^g
		LO 22	5.8 ^l	6.83 ^e	1.18 ^{bc}	5 ^f	0.475 ^c	0.036 ^g
		LO 1	5.92 ^l	5.58 ^f	1.57 ^b	5 ^f	0.435 ^c	0.040 ^f
		LO 20	5.6 ^l	5.95 ^{ef}	1.74 ^b	4 ^g	0.421 ^c	0.047 ^f
		LO 28	5.35 ^l	6 ^e	1.52 ^b	5 ^f	0.359 ^d	0.045 ^f
	Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 55	6.50 ^k	4.41 ^g	1.90 ^{ab}	5 ^f	0.340 ^d	0.073 ^c
		IO 56	6.13 ^k	7 ^d	1.86 ^b	5 ^f	0.360 ^d	0.065 ^{cd}
		IO 57	6.6 ^k	6.42 ^c	1.18 ^{bc}	6 ^e	0.287 ^e	0.055 ^e

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). VC = vermicompost convencional; LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Vermicomposta de residuos de aguacate orgánicos	Intestino de <i>E. foetida</i>	IO 58	5.98 ^l	6.04 ^e	1.28 ^{bc}	5 ^f	0.195 ^f	0.033 ^g
		IO 60	6.24 ^k	6.70 ^e	1.15 ^{bc}	7 ^d	0.320 ^d	0.062 ^d
		IO 82	6.66 ^k	10.08 ^{ab}	2.08^a	5 ^f	0.529 ^c	0.068 ^c
		IO 83	6.20 ^k	8.95 ^{bc}	2.12^a	5 ^f	0.468 ^c	0.055 ^e
		IO 84	5.70 ^l	8.41 ^c	2.07^a	5 ^f	0.478 ^c	0.057 ^e
	Piel de <i>E. foetida</i>	PO 63	11.65 ^{gh}	6.6 ^e	1.33 ^{bc}	4 ^g	0.176 ^f	0.026 ^h
		PO 64	5.66 ^l	6.69 ^e	1.72 ^b	5 ^f	0.170 ^f	0.022 ^h
		PO 68	10.22 ⁱ	6.40 ^e	1.33 ^{bc}	4 ^g	0.144 ^f	0.025 ^h
		PO 70	10.65 ^{hi}	5.79 ^f	1.05 ^c	4 ^g	0.116 ^{fg}	0.014 ⁱ
		PO 71	6.08 ^k	6.41 ^e	1.46 ^b	3 ^h	0.147 ^f	0.021 ^h
		PO 72	6.91 ^k	10.04 ^b	9.62 ^b	4 ^g	0.170 ^f	0.029 ^h
		PO 73	11.45 ^h	7.03 ^d	1.28 ^{bc}	4 ^g	0.159 ^f	0.020 ^h
		PO 74	10.75 ^{hi}	10.40 ^b	10.88 ^b	4 ^g	0.371 ^d	0.056 ^e
		PO 75	5.20 ^l	6.25 ^e	1.38 ^{bc}	4 ^g	0.151 ^f	0.022 ^h
		PO 76	13.55 ^e	8.05 ^c	1.50 ^b	5 ^f	0.199 ^f	0.032 ^g

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 24.

Ambientes de aislamiento de bacterias	Origen del aislado	Clave del aislado	Altura de la planta cm	Longitud radical Cm	Diámetro del tallo mm	Núm. hojas	Peso fresco total g	Peso seco total g
Vermicomposta de residuos de aguacate orgánicos	Vermicompost	VO 100	18.41^a	13.29^a	1.76 ^b	11^a	1.066^a	0.127 ^b
		VO 101	16.75 ^b	9 ^b	1.67 ^b	10^a	0.838 ^b	0.106 ^b
		VO 102	16.45 ^{bc}	8 ^c	1.39 ^b	10^a	0.751 ^{bc}	0.104 ^b
		VO 103	16.36 ^{bc}	8.72 ^{bc}	1.50 ^b	10^a	0.753 ^{bc}	0.102 ^b
		VO 104	16.08 ^c	7.70 ^{cd}	1.63 ^b	10^a	0.878 ^b	0.135^a
		VO 105	17.54 ^{ab}	8.95 ^{cd}	1.61 ^b	10^a	1.283^a	0.107 ^b
		VO 106	17.87 ^{ab}	8.95 ^{bc}	1.57 ^b	10^a	0.813 ^b	0.100 ^b
		VO 107	15.87 ^c	7.87 ^{cd}	1.41 ^b	9^b	0.618 ^c	0.071 ^c
		VO 108	17.08 ^b	8 ^c	1.57 ^b	10^a	0.725 ^{bc}	0.099 ^{bc}
		VO 109	18^a	8.25 ^c	1.64 ^b	10^a	1.033^a	0.122 ^b
Control	Agua		4.90 ^m	5.39 ^f	1.08 ^c	5 ^f	0.255 ^c	0.026 ^h

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). (-) = no aplica. VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.



Figura 24. Efectividad biológica de los aislados bacterianos de diferentes ambientes en la promoción del crecimiento vegetal de plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en el invernadero. a = aislados de la parcela convencional “El Zapote” árboles sanos; b = “El Zapote” árboles enfermos; c = Aislados de la parcela convencional “La Tira” árboles sanos; d = “La Tira” árboles enfermos; e = aislados de la parcela orgánica “La Escondida” árboles sanos; f = “La Escondida” árboles enfermos; g = aislados de la parcela orgánica “San Antonio” árboles sanos; h = “San Antonio” árboles enfermos; i = aislados del lixiviado; J = aislados de intestino de *E. foetida*, k = aislados de piel de *E. foetida* y l = aislados de vermicompost de VRAC.

Continuación Figura 24.



m = aislados del lixiviado; n = aislados de intestino de *E. foetida*, ñ = aislados de piel de *E. foetida*; o = aislados de vermicompost de VRAO y p = control sin inocular.

7.3.5.3. Evaluación de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración de *S. lycopersicum*

En el Cuadro 25, se presenta la elevación de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración de *S. lycopersicum*, donde el tratamiento que consistió en la inoculación de la semilla de *S. lycopersicum* con consorcio de los aislados que fijaron nitrógeno SSSA 39, SEE 8 y SEE 9 registro 96 % de germinación, seguido del tratamiento que consistió en la inoculación de aislados que solubilizaron fosfato, calcio y fijaron nitrógeno SSSA 39, SESA 32 y SSSA 42, registró 93 % de germinación, mientras el tratamiento donde fue la inoculación de la semilla con bacterias SEE 9, SSZ 40 y SEZ 11 que realizaron los tres mecanismos de promoción de crecimiento vegetal y tratamiento donde fue el control positivo con la inoculación de *B. subtilis*, *A. vinelandii*, y *A. brasilense* arrojaron 83 y 80 % de germinación, mientras el tratamiento que consistió en la coinoculación de SEE 8, SSSA 39 y SESA 32 que solubilizaron fosfato, calcio y fijaron nitrógeno y el tratamiento donde se aplicaron los aislados SSSA 42, SESA 32 y SEZ 11 que solubilizaron calcio registraron 73 % de germinación, estos valores fueron estadísticamente diferentes al 63, 56 y 53% de germinación registrados por el tratamiento donde fue el control absoluto con solo agua, tratamiento donde que fue el control químico con solución nutritiva Hoagland 50% y tratamiento donde se inoculó un producto comercial a base de *Pseudomona* sp. Lo anterior mostró que la combinación de aislados bacterianos de suelo de parcelas de aguacate con MAO, tuvieron efecto benéfico en la germinación de la semilla de *S. lycopersicum* por la acción que solubilización de fosfato, calcio y fijación de nitrógeno, ya que estos mecanismos de promoción de crecimiento vegetal aceleran la división celular, para aumentar la germinación (Kim *et al.*, 2021). Los resultados anteriores concuerdan con lo investigado por Ornik *et al.* (2024), donde evaluaron un extracto de bacterias aisladas de cultivos orgánicos, ellos inocularon con el extracto de las bacterias en semillas de trigo (*Triticum aestivum*), como resultado obtuvieron que al sexto día de haber germinado registraron un 100 % de germinación.

En el caso del promedio de flores a los 40 días después de la siembra, el tratamiento que consistieron en la inoculación en consorcio con los mejores aislados que produjeron nitratos y solubilizadores de calcio registraron un promedio de 5.6 y 5.7 flores a los 40 días

posteriores a la siembra; en la literatura se menciona que los NO_3^- son absorbidos por las raíces y tienen función específica como fuente de nitrógeno para la síntesis de aminoácidos y proteínas, se almacena en vacuolas que tienen funciones osmóticas (Foyer & Zhang, 2010). Mientras el calcio interviene en el desarrollo de raíces y hojas, ayuda a reducir el NO_3^- en plantas, regula la producción de las flores (Hocking et al., 2016); lo anterior indicó que el consorcio de estas bacterias tiene un efecto potencial para acelerar la floración en las plantas de *S. lycopersicum*.

Cuadro 25. Evaluación en la promoción del crecimiento vegetal de los mejores aislados de suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración de *S. lycopersicum*.

<i>Solanum lycopersicum</i>	Porcentaje (%) de germinación	Promedio de flores a los 40 días después de la siembra
T1: SSSA 39, SESA 32 y SSSA 42	93 ^a	2.3 ^d
T2: SEE 8, SSSA 39 y SESA 32	73 ^c	4.5 ^b
T3: SEE 9, SSZ 40 y SEZ 11	83 ^b	4.4 ^b
T4: SSSA 39, SEE 8 y SEE 9	96 ^a	4.9 ^b
T5: SESA 32, SSSA 39 y SSZ 40	90 ^{ab}	5.6 ^a
T6: SSSA 42, SESA 32 y SEZ 11	73 ^c	5.7 ^a
T7: Control agua	63 ^d	3.6 ^c
T8: Control químico Control químico Solución nutritiva Hoagland 50%	56 ^d	4.1 ^{bc}
T9: <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Azotobacter vinelandii</i> , y <i>Azospirillum brasilense</i>	80 ^b	3.9 ^c
T10: producto comercial <i>Pseudomona</i> sp	53 ^e	3.9 ^c

Letras distintas indican diferencia significativa (Tukey P <0.05). SSSA 39, SSSA 42 = aislados de suelos de árboles productores de parcela orgánica “San Antonio”; SESA 32 = aislado de suelos de árboles poco productores de parcela orgánica “San Antonio”; SEE 8, SEE 9 = aislados de suelos de árboles poco productores de parcela orgánica “La Escondida”; SSZ 40= aislado de suelos de árboles productores de parcela convencional “El Zapote”; SEZ 11 = aislado de suelos de árboles poco productores de parcela convencional “El Zapote”

7.3.6. Conclusiones

De los 108 aislados bacterianos encontrados en los diferentes ambientes; suelos de cultivo de aguacate con manejo convencional y orgánico, así como de las vermicompostas con residuos de aguacate convencional y orgánico con estiércol bovino, solo 34 presentaron al menos un mecanismo de promoción de crecimiento vegetal. Para solubilización de fosfato, una bacteria del suelo de una parcela convencional, ocho aislados de una parcela orgánica, una de lixiviado de VRAC y dos de VRAO, las cuales presentaron actividades fosfatasa ácidas y alcalinas superiores a 10 $\mu\text{g/mL}$. Para la solubilización de calcio, solo dos bacterias del suelo de parcelas convencionales y seis aislados de una parcela orgánica, así como, cuatro de lixiviado de VRAC y cinco de VRAO. Mientras en la fijación biológica de nitrógeno, se obtuvieron valores superiores a 100 ppm de NO_3^- , 18 aislados de parcelas de aguacate con manejo orgánico, cinco de VRAC y ocho de VRAO. Los aislados que presentaron solubilización de fosfato, calcio, actividad fosfatasa, fijación biológica de nitrógeno fueron: SSSA 37, SSSA 39, SESA 18, SESA 32, SESA 31, SESA 41, SESA 46 y LC 26, estas bacterias fueron aisladas de los suelos de la parcela orgánica “San Antonio” y de lixiviado de VRAC, las cuales superaron estadísticamente a *B. thuringiensis* y *A. vinelandii*. Por lo anterior se determinó que en los ambientes orgánicos como suelo de parcelas de aguacate orgánico y VRAO, se encontraron bacterias con mayor potencial biológico. En tanto, en la evaluación de los ABDA en *S. lycopersicum* los aislados de vermicompost de VRAC y VRAO, registraron los valores más altos en la AP, LR, diámetro del tallo, Núm. hojas, PFT y PST, lo cual nos indicó que para incrementar el crecimiento vegetal de las plantas es necesario implementar el vermicompost de *E. foetida*. Mientras en la selección de los aislados con mayor potencial biológico de los suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico se registró un efecto positivo de la inoculación en consorcio en la germinación y floración de *S. lycopersicum* superando al control químico.

7.3.7. Literatura citada

- Bach, E. M., Ramirez, K. S., Fraser, T. D., & Wall, D. H. (2020). Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future. *Sustainability*, *12*(7), 2662.
- Corrales-Lozada, M., Lumbres, V., Iglesias-Osores, S., & Carreño-Farfán, C. (2020). Potencialidades de bacterias promotoras del crecimiento vegetal, aisladas de *Portulaca oleracea* L. en suelos con salinidad. *Pastos y Forrajes*, *43*(2), 93-101.
- Das, D., Bhattacharyya, P., Ghosh, B. C., & Banik, P. (2016). Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermiconversion technologies. *Ecological Engineering*, *86*, 154-161.
- Foyer, C. H., & Zhang, H. (Eds.). (2010). *Annual Plant Reviews Volume 42*. doi:10.1002/9781444328608
- González H. y Fuentes N. (2017) Mechanism of action five plan growth promoter's microorganism. *Ciencias Agrícolas*. 34(1): 17-31 DOI: 10.22267/rcia.173401.16
- González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, *39*.
- Gupta, R., Noureldeen, A., & Darwish, H. (2021). Rhizosphere mediated growth enhancement using phosphate solubilizing rhizobacteria and their tri-calcium phosphate solubilization activity under pot culture assays in Rice (*Oryza sativa*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(7), 3692-3700.
- Hassan, M. K., McInroy, J. A., & Kloepper, J. W. (2019). The interactions of rhizodeposits with plant growth-promoting rhizobacteria in the rhizosphere: a review. *Agriculture*, *9*(7), 142.
- Hirano, K., Hayatsu, M., Nioh, I., & Nakai, H. (2001). Comparison of nitrogen-fixing bacterial flora of rice rhizosphere in the fields treated long-term with agrochemicals and non-agrochemicals. *Microbes and environments*, *16*(3), 155-160.
- Hocking, B., Tyerman, S. D., Burton, R. A., & Gilliam, M. (2016). Fruit calcium: transport and physiology. *Frontiers in plant science*, *7*, 569.

- Igiehon, N. O., & Babalola, O. O. (2018). Rhizosphere microbiome modulators: contributions of nitrogen fixing bacteria towards sustainable agriculture. *International journal of environmental research and public health*, 15(4), 574.
- Kim, J. H., Kim, S. J., & Nam, I. H. (2021). Effect of treating acid sulfate soils with phosphate solubilizing bacteria on germination and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 8919.
- Lara, C., Esquivel Avila, L. M., & Negrete Peñata, J. L. (2011). Bacterias nativas solubilizadores de fosfatos para incrementar los cultivos en el departamento de Córdoba-Colombia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 9(2), 114-120.
- Laghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., & Lashari, A. A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Villar Sánchez, B., Camas Gómez, R., & García Santiago, J. O. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-910.
- Martínez, C., Espinosa-Ruiz, A., & Prat, S. (2016). Gibberellins and plant vegetative growth. *Annual Plant Reviews, Volume 49: Gibberellins, The*, 285-322.
- Molina-Romero, D., M. Bustillos-Cristales, O. Rodríguez-Andrade, Y. E. Morales-García, Y. Santiago-Saenz, M. Castañeda-Lucio y J. Muñoz-Rojas. 2015. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas* 17: 24-34
- Noar, J. D., & Bruno-Bárcena, J. M. (2018). *Azotobacter vinelandii*: the source of 100 years of discoveries and many more to come. *Microbiology*, 164(4), 421-436.

- Oteino, N., R. D. Lally, S. Kiwanuka, A. Lloyd, D. Ryan, K. J. Germaine, and D. N. Dowling. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Front. Microbiol* 6: 1-9. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- Ornik, M., Salinas, R., Antonacci, G., Schädler, M., & Azarbad, H. (2024). The stress history of soil bacteria under organic farming enhances the growth of wheat seedlings. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1355158
- Pandya, U., Maheshwari, D., & Saraf, M. (2014). Assessment of ecological diversity of rhizobacterial communities in vermicompost and analysis of their potential to improve plant growth. *Biologia*, 69(8), 968-976. DOI: 10.2478/s11756-014-0406-4
- Paredes-Mendoza, M., & Espinosa-Victoria, D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61-70.
- Pathma, J., & Sakthivel, N. (2013). Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost. *Applied Soil Ecology*, 70, 33–47.
- Pineda, M. E. B. 2014. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 101-113.
- Ramos Salaza, R. A., Mendoza Villarreal, R., Robledo Torres, V., & Hernández Pérez, A. (2022). Efecto de rizobacterias solubilizadoras de calcio en caracteres agronómicos y minerales de *Tagetes erecta*. *Biotecnia*, 24(2), 149-154.
- Razaq, M., P. Zhang, H. Shen, and Salahuddin. 2017. Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of *Acer mono*. *PLoS ONE* 12: 1-13. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171321>
- Sánchez López, D. B., García Hoyos, A. M., Romero Perdomo, F. A., & Bonilla Buitrago, R. R. (2014). Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal

- solubilizadoras de fosfato en *Lactuca sativa* cultivar White Boston. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(2), 122-128.
- Sherpa, M. T., Bag, N., Das, S., Haokip, P., & Sharma, L. (2021). Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria isolated from organically grown high yielding pole type native pea (*Pisum sativum* L.) variety Dentami of Sikkim, India. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100068.
- Torres, Ó. G. V. 2016. Importancia de los fosfatos y fosfitos en la nutrición de cultivos. *Acta Agrícola y Pecuaria*. 2 (3): 55-61
- Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 333-345.
- Walker, T. S., Bais, H. P., Grotewold, E., & Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. *Plant physiology*, 132(1), 44-51.
- Yadav, B. K. and A. Verma. 2012. Phosphate solubilization and mobilization in soil through soil microorganisms under arid ecosystems. pp. 93-108. In: M. Ali (ed.). *The functioning of ecosystems*. Intech Open. London, UK. doi: <https://doi.org/10.5772/35917>. ISBN: 978-953-51-0573-2
- Yoshioka, I. C., de Prager, M. S., & Bolaños, M. M. (2006). Actividad de fosfatasas ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. *Acta Agronómica*, 55(2), 1-8.

Capítulo 7.4. Actividad antagónica *in vitro* de aislados bacterianos de distintos ambientes contra *Fusarium* sp

7.4.1. Resumen

Algunas bacterias con promoción de crecimiento vegetal poseen mecanismos indirectos que implican protección contra fitopatógenos en las plantas. Este efecto se debe entre otros, a que las bacterias producen enzimas hidrolíticas que destruyen la pared celular del hongo, así como metabolitos secundarios antifúngicos. Uno de los fitopatógenos más comunes en los cultivos de tomate, calabaza, coles, plátano, gramíneas, papa, aguacate entre otros, es *Fusarium* sp, que provoca la enfermedad de la podredumbre de las raíces y marchitez de las plantas. Este fitopatógeno se propaga principalmente por el agua que se utiliza para el riego de los cultivos y se hospeda en los suelos, para evitar su propagación se aplican elevadas dosis de agroquímicos los cuales acaban con las bacterias benéficas de la rizosfera de los cultivos. Por lo anterior, en este trabajo, se evaluaron 108 aislados bacterianos de diferentes ambientes como inhibidores de crecimiento contra *Fusarium* sp. En condiciones *in vitro*, se determinó el efecto inhibitorio de las distintas bacterias y se utilizó la cepa *Bacillus subtilis* como control positivo. De los 108 aislados bacterianos, solo 30 registraron actividad antagónica contra *Fusarium* sp superando el 70 % del porcentaje de inhibición de crecimiento radial (PICR) del fitopatógeno, ocho bacterias fueron aisladas del suelo de parcelas de aguacate con manejo convencional, cinco bacterias aisladas del suelo de parcelas de aguacate con manejo orgánico y 17 de vermicompostas. Los 30 aislados bacterianos fueron estadísticamente iguales de efectivos que *B. subtilis*. Lo anterior indicó que existe diferencia en el potencial de inhibición del fitopatógeno dependiendo de donde se aíslan las bacterias.

Palabras clave: Control biológico, inhibición del crecimiento radial, manejo agronómico del suelo y vermicompostas.

7.4.2. Abstract

Some plant growth-promoting bacteria possess indirect mechanisms involving protection against plant pathogens in plants. This effect is due, among others, to the fact that the bacteria produce hydrolytic enzymes that destroy the fungal cell wall, as well as antifungal secondary

metabolites. One of the most common phytopathogens in tomato, squash, cabbage, banana, plantain, grass, potato, avocado and other crops is *Fusarium* sp, which causes root rot and wilt disease in plants. This phytopathogen spreads mainly through the water used for crop irrigation and lodges in the soil. To prevent its spread, high doses of agrochemicals are applied, which kill the beneficial bacteria in the rhizosphere of crops. Therefore, in this study, 108 bacterial isolates from different environments were evaluated as growth inhibitors against *Fusarium* sp. Under in vitro conditions, the inhibitory effect of the different bacteria was determined and the *Bacillus subtilis* strain was used as a positive control. Of the 108 bacterial isolates, only 30 registered antagonistic activity against *Fusarium* sp exceeding 70 % of the percentage of radial growth inhibition (PRGI) of the phytopathogen, eight bacteria were isolated from soil of conventionally managed avocado plots, five bacteria isolated from soil of organically managed avocado plots and 17 from vermicompost. All 30 bacterial isolates were statistically equally effective as *B. subtilis*. This indicated that there is a difference in the inhibition potential of the phytopathogen depending on where the bacteria are isolated.

Key words: Biological control, radial growth inhibition, agronomic soil management and vermicompost.

7.4.3. Introducción

La actividad antagónica, es uno de los mecanismos indirectos que las bacterias presentan y previenen los efectos dañinos de los fitopatógenos en las plantas. Las bacterias producen sustancias represoras que aumentan la resistencia natural del huésped; también estas sustancias ayudan a las plantas a crecer bajo condiciones de estrés abiótico y biótico (Akhgar *et al.*, 2014; Singh y Jha, 2015); las bacterias actúan produciendo enzimas hidrolíticas (quitinasas, celulasas, proteasas), diversos antibióticos que atacan a patógenos de plantas y producción de sideróforos que conlleva a la inducción a resistencia sistemática contra diversos patógenos y plagas (Nivya, 2015). En la literatura se menciona que *Fusarium* sp, es de los hongos que se encuentran entre los fitopatógenos más comunes y causan más daño en los cultivos. En el campo la enfermedad se identifica por formar lesiones hundidas de color negro y marrón en la base de los tallos que puede presentar manchas rojizas en los peciolos (Leslie y Summerell, 2008; Retana *et al.*, 2018). Los nombres comunes de la enfermedad

son, podredumbre de las raíces, pudrición y marchitez y secadera. Este hongo fitopatógeno produce micotoxinas para colonizar el interior de la planta lo que conlleva afectar el sistema vascular y así obstruye el flujo del agua, por lo anterior, *Fusarium* sp, se convierte en el principal agente causal de la marchitez vascular y pudrición de la raíz en cultivos como tomate, curcubitáceas, coles, plátano, gramíneas, papa y aguacate (Zakaria et al., 2009; MacGover, 2015; Guevara-Avendaño *et al.*, 2019).

Para el control de *Fusarium* sp, suelen aplicar elevadas dosis de fungicidas, los cuales afectan las poblaciones microbiológicas del suelo en los suelos de cultivos. Por lo tanto, es importante encontrar o utilizar estrategias que alteren lo menor posible la microbiota del suelo y que puedan controlar fitopatógenos como *Fusarium* sp. Existen investigaciones donde han encontrado bacterias de suelos de cultivos y vermicompostas con actividad antagónica contra *Fusarium* sp, tal como lo mencionan Corrales et al. (2012), quienes aislaron *Bacillus megaterium* de la rizosfera de estrella de belén (*Ornithogalum umbellatum*) y *Bacillus subtilis* de la rizosfera de romero (*Rosmarinus officinalis*), ambas bacterias tuvieron actividad antagónica contra *Fusarium* sp, ya que *B. megaterium* registró un 63 % de inhibición del crecimiento radial (ICR), mientras *B. subtilis* tuvo un 80 %. Estos autores concluyen que las bacterias aisladas liberaron compuestos con propiedades antifúngicas como la subtilina y antibióticos de la familia iturinas que actúan sobre la pared celular de *Fusarium* sp. En otra investigación, Corrales-Ramirez et al. (2013), aislaron *B. subtilis* de suelos de cultivos de jitomate (*Solanum lycopersicum*), la bacteria tuvo un efecto antagónico contra *Fusarium oxysporum*, la cual registró 60 % de ICR del hongo; ellos dedujeron que este efecto se debió a la producción de metabolitos antifúngicos para inhibir el crecimiento del fitopatógeno. Alvares y Sánchez, (2016), mencionaron que *B. subtilis* registró un 80 % de ICR contra *Fusarium* sp, debido a la antibiosis que es característica de los biocontroladores. Por su parte, Win et al. (2021), aislaron bacterias de suelo sano y enfermo de un cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*); y aislaron *Fusarium* sp, *B. subtilis*, *Penicillium* sp y *Bacillus velezensis*. Estas bacterias registraron un 60 % de ICR contra *Fusarium* sp., y mencionaron que estas bacterias, liberaron compuestos antifúngicos, enzimas como la quitinasa y glucanasa, finalmente concluyeron que las bacterias autóctonas pueden controlar eficazmente fitopatógenos.

También existen investigaciones donde han aislado bacterias de vermicompostas con efecto antagónico contra *Fusarium* sp. Liu et al. (2021), estudiaron una vermicompost donde aislaron *Brukholderia cenocepacia* que se caracteriza por ser solubilizadora de fosfato, pero también, tuvo una actividad antagónica del 70 % de ICR contra *Fusarium* sp. Mientras Soltan et al. (2022), aislaron de una vermicomposta, *B. subtilis* que registró un 56.30 % de ICR contra *Fusarium* sp; lo que los llevo a concluir que las vermicompostas son ricas en bacterias benéficas con actividad antagónica.

Por lo anterior, en este trabajo, se evaluarán 108 aislados bacterianos de diferentes ambientes como posibles inhibidores de crecimiento contra *Fusarium* sp. Se espera que las bacterias con mayor actividad antagónica sean aquellas provenientes de suelos y de las vermicompostas.

7.4.4. Materiales y métodos

7.4.4.1. Obtención de aislados bacterianos

En los capítulos 2 y 3, se mencionan los orígenes y principales características macro y micro morfológicas de los 108 aislados bacterianos utilizados. Estos aislados se crio-conservaron con 50 % de glicerol y 50 % de la bacteria hasta su reactivación y utilización.

7.4.4.2. Diseño de tratamientos

En el cuadro 26, se muestran los tratamientos establecidos en este trabajo, se estableció un diseño experimental completamente al azar unifactorial (origen del aislado), con 108 tratamientos cada uno con tres repeticiones y como control positivo se utilizó *B. subtilis* cepa reconocida por inhibir el crecimiento de *Fusarium* sp., donada por el laboratorio de fitopatología, unidad de biotecnología vegetal del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño de Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ).

Cuadro 26. Diseño experimental para evaluar la actividad antagónica de los ABDA contra *Fusarium sp.*

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen del aislado	Suelo sano y enfermo de la parcela convencional “El Zapote”	T1 = SSZ 13, T2 = SSZ 15, T3 = SSZ 40, T4 = SEZ 7, T5 = SEZ 4, T6 = SEZ 11
	Suelo sano y enfermo de la parcela convencional “La Tira”	T7 = SST 33, T8 = SST 21, T9 = SST 34, T10 = SST 45, T11 = SET 35, T12 = SET 17, T13 = SET 24, T14 = SET 2 y T15 = SET 43.
	Suelo sano y enfermo de la parcela orgánica “La Escondida”	T16 = SSE 14, T17 = SSE 5, T18 = SSE 16 T19 = SEE 8, T20 = SEE 9, T21 = SEE 10, T22 = SEE 12, T23 = SEE 6.
	Suelo sano y enfermo de la parcela orgánica “San Antonio”	T24 = SSSA 42, T25 = SSSA 37, T26 = SSSA 38, T27 = SSSA 44, T28 = SSSA 39, T29 = SESA 18, T30 = SESA 23, T31 = SESA 19, T32 = SESA 32, T33 = SESA 31, T34 = SESA 41 y T35 = SESA 36
	Lixiviado de vermicomposta con residuos de aguacate convencional (VRAC)	T36 = LC 27, T37 = LC 30, T38 = LC 3, T39 = LC 25 y T40 = LC 26
	Intestino de <i>E. foetida</i> de VRAC	T41 = IC 51, T42 = IC 52, T43 = IC 53, T44 = IC 54, T45 = IC 59, T46 = IC 61, T47 = IC 62, T48 = IC 79, T49 = IC 80.

SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira; SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio, SESA = suelo enfermo san Antonio; LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional

Continuación del Cuadro 26.

Factor	Niveles	Tratamientos
Origen del aislado	Piel de <i>E. foetida</i> de VRAC	T50 = PC 65, T51 = PC 66, T52 = PC 67, T53 = PC 69, T54 = PC 77, T55 = PC 78, T56 = PC 81, T57 = PC 85, T58 = PC 86, T59 = PC 87, T60 = PC 88 y T61 = PC 89
	Vermicompost de VRAC	T62 = VC 90, T63 = VC 91, T64 = VC 92, T65 = VC 93, T66 = VC 94, T67 = VC 95, T68 = VC 96, T69 = VC 97, T70 = VC 98 y T71 = VC 99
	Lixiviado de vermicomposta de residuos de aguacate orgánico (VRAO)	T72 = LO 29, T73 = LO 22, T74 = LO 1, T75 = LO 20 y T76 = LO28
	Intestino de <i>E. foetida</i> de VRAO	T77 = IO 55, T78 = IO 56, T79 = IO 57, T80 = IO 58, T81 = IO 60, T82 = IO 82, T83 = IO 83 y T84 = IO 84.
	Piel de <i>E. foetida</i> de VRAO	T85 = PO 63, T86 = PO 64, T87 = PO 68, T88 = PO 70, T89 = 71, T90 = PO 72, T91 = 73, T92 = PO 74, T93 = PO 75 y T94 = PO 76
	Vermicompost de VRAO	T95 = VO 100, T96 = VO 101, T97 = VO 102, T98 = VO 103, T99 = VO 104, T100 = VO 105, T101 = VO 106, T102 = VO 107, T103 = VO 108 y T104 = VO 109, T105 = VO 110, T106 = VO 111, T107 = 112, T108 =113
	Control	T109 = <i>B. subtilis</i>

PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional; LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica, VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

7.4.4.3. Medición de actividad antagónica

Los 108 aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA), se activación en agar nutritivo (Cap. 2 y 3), posteriormente se hizo crecer *Fusarium* sp en agar Saboraud (g/L): 25 glucosa, (Acharya *et al.*, 2022) y medio nutritivo PDA con la composición (g/L) 4 extracto de papa, 20 dextrosa, 15 de agar-agar, pH 6.5 (Bolívar *et al.*, 2009). Los aislados bacterianos de suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico se sembraron en el agar como se observa en la Fig. 25a donde en una caja Petri se colocó solo una bacteria y algunos aislados de VRAC y VRAO, se sembraron como se observa en la Fig. 25b, donde en una caja Petri se colocaron dos bacterias distintas debido a la insuficiencia de la cantidad de cajas Petri del laboratorio. Después las cajas Petri con los aislados y *Fusarium* sp, se dejaron en incubación por ocho días a 30°C, posteriormente se observaron los que presentaron la inhibición de crecimiento de *Fusarium* sp. Para medir el porcentaje de inhibición del crecimiento de radial se utilizó la siguiente formula (Moreno-Limón *et al.*, 2011):

$$I\% = \frac{(C - T) \times 100}{C}$$

I% = inhibición de crecimiento micelar

C= Crecimiento radical del hongo en placa control (mm)

T= Crecimiento radical del hongo en placa inoculada con bacteria (mm)

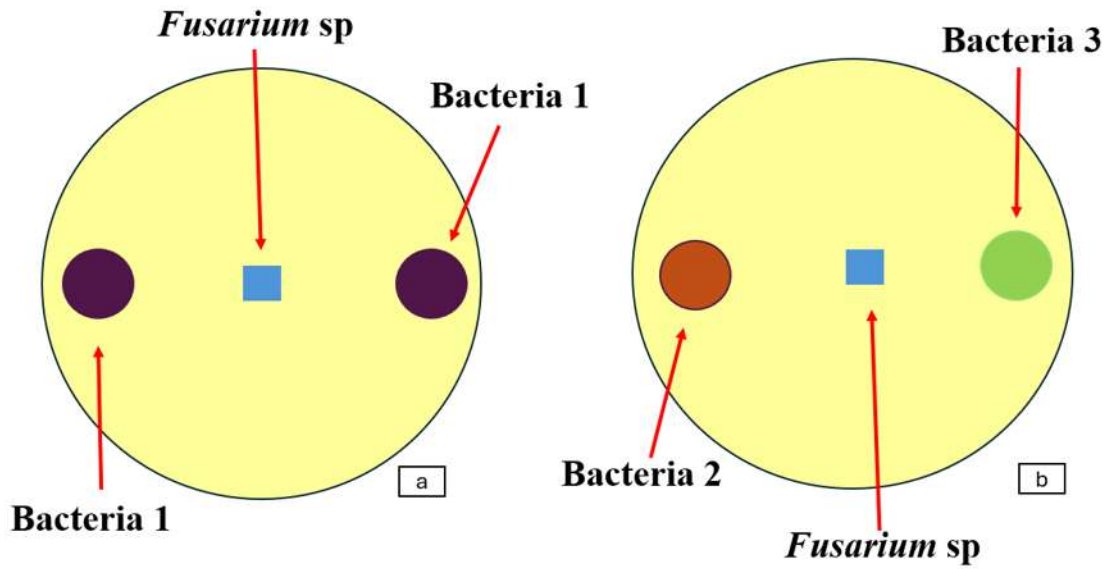


Figura 25. Evaluación de los aislados bacterianos de diferentes ambientes con la actividad antagonista in vitro.

7.4.4.4. Análisis estadístico

A los datos se les realizó pruebas de distribución normal, homocedasticidad de varianzas para cumplir los criterios y se realizaron ANOVAS, para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos y el control se utilizó la prueba múltiple de medias de Dunnett ($P < 0.05$) con Statistical Software 22.

7.4.5. Resultados y discusión

7.4.5.1. Medición de actividad antagónica

En el Cuadro 27, se presenta el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PICR) de *Fusarium* sp ante las bacterias de diferente ambiente. De los 108 aislados bacterianos evaluados, solo 30 bacterias presentaron inhibición del crecimiento de *Fusarium* sp, de las cuales SST 21, SET 24, SET 2, SSE 16, SEE 6, VC 93, VC 99, PO 73, PO 75 registraron valores superiores al 90 % PICR. Los aislados SSZ 15, SEZ 7, SEZ 11, SSSA 39, SESA 32, PC 78, PC 81, PC 85, PO 63, PO 70, PO 71, PO 76, VO 103, VO 104, VO 108, VO 109 y VO 113, arrojaron valores arriba del 80 % PICR, las bacterias SST 45 y PC 89 registraron valores superiores al 70% PICR y los aislados SSZ 40 y SSSA 42 presentaron valores superiores al 60 % PICR. Estos aislados bacterianos fueron estadísticamente iguales al 76.06 % de *B. subtilis*; mientras SEE 8, VC 90, VC 91y VO 102 registraron un PICR inferior al 50 % y fueron estadísticamente diferentes al 79.06 % de PICR de *B. subtilis*. En la Fig. 26 b, c, f, g, h, i, j y l, se puede observar que las bacterias de suelos llevan a cabo el mecanismo amensalismo, que impidió el desarrollo y supervivencia de *Fusarium* sp. Mientras la Fig. 26 a, k, m y ñ, se presentó la inhibición del crecimiento del fitopatógeno, pero por competencia de nutrientes. En la Fig. 26 ñ, o, p, u, v, w, x, z y a1, se observó que los aislados de VRAC y VRAO, tuvieron actividad antagónica, mientras que en las Figuras 26 q, s, t, y, se presentó la inhibición de crecimiento del fitopatógeno por competencia de nutrientes. Lo anterior nos muestra que en la piel de *E. foetida* y vermicompost de VRAO, se encontraron mayor número de bacterias con actividad antagónica. Cabe mencionar que en ambientes como el lixiviado e intestino de *E. foetida* de VRAC y VRAO, no se encontró ninguna bacteria con actividad antagónica debido a que el lixiviado presento pH de 8, el cual no es óptimo para el crecimiento de hongos fitopatógenos. En el caso del ambiente del intestino de *E. foetida*, al ser anóxico evita la presencia de *Fusarium* sp, por lo anterior los aislados bacterianos de estos ambientes no presentaron actividad antagónica (Miglani *et al.*, 2021)

Lo anterior nos demostró que el vermicompost es una alternativa ecológica en cultivos con ataques de fitopatógenos ya que podría disminuir el daño a las plantas, debido a que en el vermicompost se encuentran bacterias con actividad antagónica por la producción de enzimas y metabolitos antifúngicos (Kiyasudeen *et al.*, 2016; Tian *et al.*, 2021; Sivasabari *et al.*, 2023).

En tanto en los suelos de árboles sanos y enfermos de parcelas convencional y orgánicos también se encontraron bacterias que inhibieren el crecimiento de *Fusarium* sp, en los árboles enfermos posiblemente se encuentran porque poseen mayor actividad de enzimas hidrolíticas para defensa de fitopatógenos que los puedan estar atacando. En este caso también presentaron actividad antagónica igual a *B. subtilis*, aislados de parcelas convencionales y orgánicos de aguacate tanto de árboles sanos y enfermos debido a que en estas parcelas puede encontrarse fitopatógenos que sean resistentes a fungicidas, pero no son resistentes a enzimas líticas o metabolitos secundarios producidos por las rizobacterias (Kanchswamy *et al.*, 2015; Guswami *et al.*, 2016; Sharifi *et al.*, 2016). Los resultados de los aislados con valores superiores al 70 % de suelos de parcelas convencionales, fueron superiores a los reportados por Vega-Torres *et al.* (2019), donde aislaron *Bacillus* sp de rizosfera de árboles de aguacate con manejo convencional, los cuales registraron 60 % de PICR contra *Fusarium oxysporum*, donde dedujeron que el género *Bacillus* demostró potencial para el control de enfermedades fúngicas en el aguacate por la producción de compuestos antifúngicos como surfactina, y fengicina.

Cuadro 27. Medición de la actividad antagónica de los aislados de diferentes ambientes contra *Fusarium* sp.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium</i> sp.
SSZ 13	-
SSZ 15	89.62^a
SSZ 40	68.80^a
SEZ 7	88.97^a
SEZ 4	-
SEZ 11	86.28^a
SST 33	-
SST 21	92.35^a
SST 34	-
SST 45	76.44^a
SET 35	-
SET 17	-
SET 24	91.97^a
SET 2	92.33^a
SET 43	-
SSE 14	-
SSE 5	-
SSE 16	93.69^a
SEE 8	51.29 ^b

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett $P < 0.05$). (-) = no aplica. SSZ = suelo sano zapote; SEZ = suelo enfermo zapote; SST = suelo sano tira; SET = suelo enfermo tira; SSE = suelo sano escondida; SEE = suelo enfermo escondida.

Continuación del Cuadro 27.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium</i> sp.
SEE 9	-
SEE 10	-
SEE 12	-
SEE 6	90.09^a
SSSA 42	69.51^a
SSSA 37	-
SSSA 38	-
SSSA 44	-
SSSA 39	88.13^a
SESA 18	-
SESA 23	-
SESA 19	-
SESA 32	86.63^a
SESA 31	-
SESA 41	-
SESA 36	-
LC 27	-
LC 30	-
LC 3	-
LC 25	-

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. SEE = suelo enfermo escondida; SSSA = suelo sano san Antonio; SESA = suelo enfermo san Antonio; LC = lixiviado de vermicomposta convencional.

Continuación del Cuadro 27.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium sp.</i>
LC 26	-
IC 51	-
IC 52	-
IC 53	-
IC 54	-
IC 59	-
IC 61	-
IC 62	-
IC 79	-
IC 80	-
PC 65	-
PC 66	-
PC 67	-
PC 69	-
PC 77	-
PC 78	82.94^a
PC 81	82.2^a
PC 85	85.87^a
PC 86	-
PC 87	-
PC 88	-

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. LC = lixiviado de vermicomposta convencional; IC = intestino de *E. foetida* convencional; PC = piel de *E. foetida* convencional.

Continuación del Cuadro 27.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium</i> sp.
PC 89	75.94^a
VC 90	46.57 ^b
VC 91	24.58 ^b
VC 92	-
VC 93	91.31^a
VC 94	-
VC 95	-
VC 96	-
VC 97	-
VC 98	-
VC 99	94.44^a
LO 29	-
LO 22	-
LO 1	-
LO 20	-
LO 28	-
IO 55	-
IO 56	-
IO 57	-
IO 58	-
IO 60	-

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. PC = piel de *E. foetida* convencional; VC = vermicompost convencional; LO = Lixiviado de vermicomposta orgánica; IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 27.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium</i> sp.
IO 82	-
IO 83	-
IO 84	-
PO 63	84.47^a
PO 64	-
PO 68	82.94^a
PO 70	88.19^a
PO 71	89.21^a
PO 72	-
PO 73	91.89^a
PO 74	-
PO 75	90.68^a
PO 76	89.13^a
VO 100	-
VO 101	-
VO 102	46.16 ^b
VO 103	82.62^a
VO 104	88.88^a
VO 105	-
VO 106	-
VO 107	-

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. IO = intestino de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; PO = piel de *E. foetida* de vermicomposta orgánica; VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

Continuación del Cuadro 27.

Clave del aislado	Porcentaje de inhibición del crecimiento radial de <i>Fusarium sp.</i>
VO 108	81.61^a
VO 109	83.36^a
VO 110	-
VO 111	-
VO 112	-
VO 113	81.61^a
<i>B. subtilis</i>	79.06^a

Letras distintas indican diferencia significativa (Dunnett P <0.05). (-) = no aplica. VO = Vermicompost de vermicomposta orgánica.

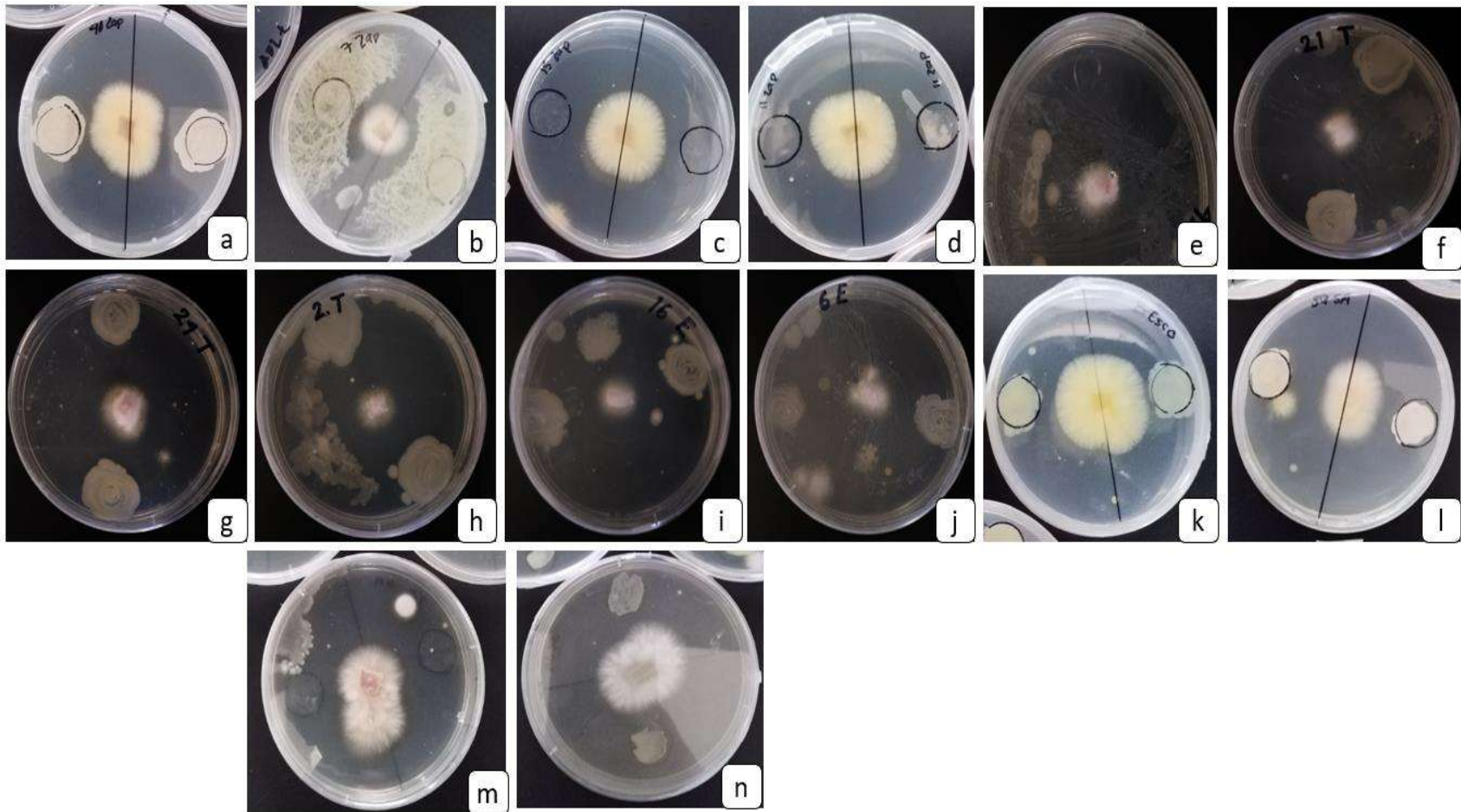
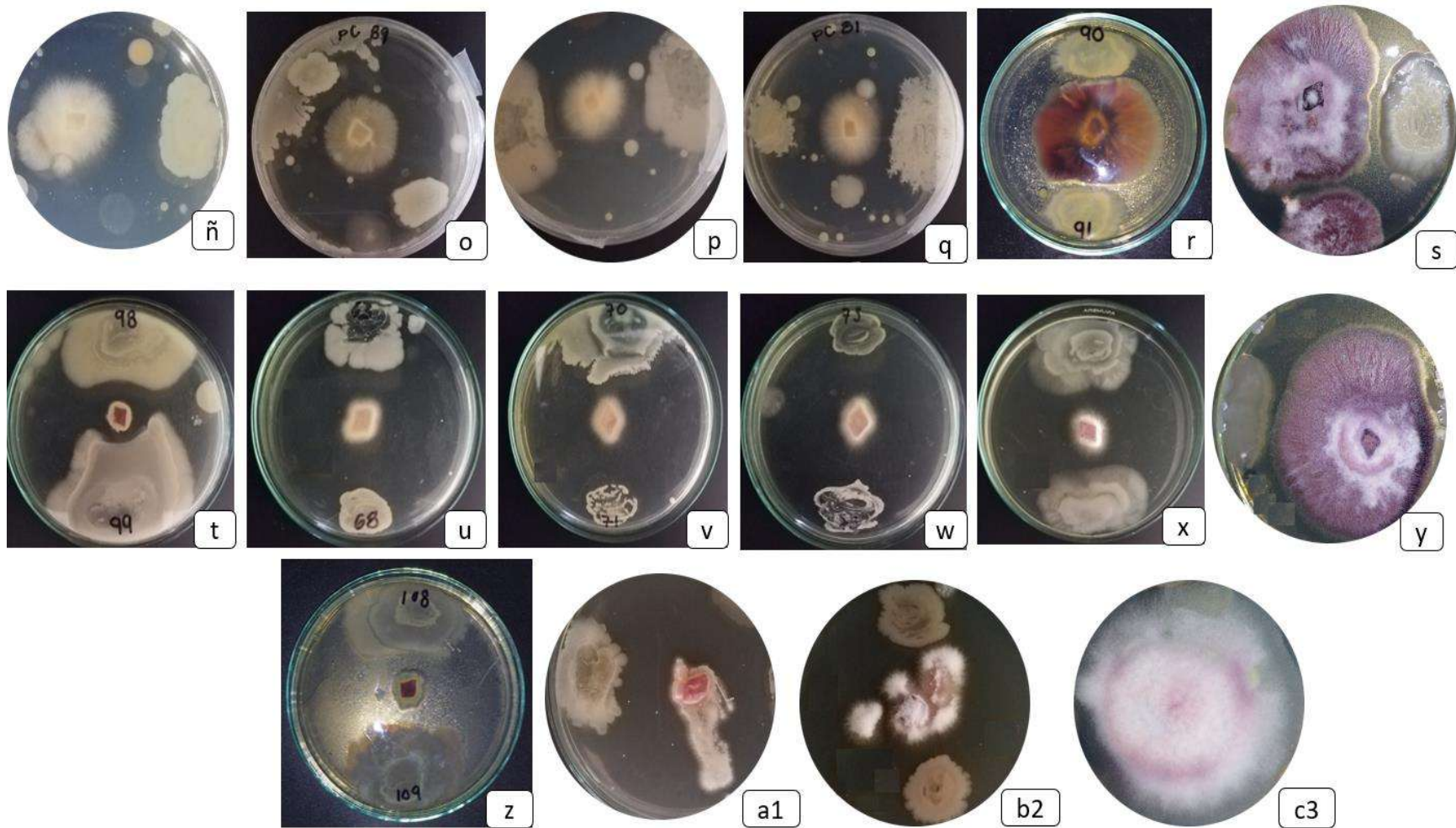


Figura 26. Actividad antagónica de bacterias aisladas de diferentes ambientes contra *Fusarium* sp. en condiciones in vitro. a = SSZ 40; b = SEZ 7; c = SSZ 15; d = SEZ 11; e = SST 45; f = SST 21; g = SET 24; h = SET 2; i = SSE 16; j = SEE 6 k = SEE 8; l =SSSA 39; m = SSSA 42; n = SESA 32.



Continuación Figura 26. ñ = PC 85; o = PC 89; p = PC 78; q = PC 81; r = HC 90 y 91; s = HC 93; t = HC 98 y 99; u = PO 63 y 68; v = PO 70 y 71; w = PO 73 y 75; x = PO 76; y = HO 102; z = HO 108 y 109; a1 = HO 113; b2 = *Bacillus subtilis* (Control positivo) y c3 = *Fusarium* sp.

7.4.6. Conclusiones

En este trabajo, de los 108 aislados bacterianos evaluados, solo 30 bacterias presentaron actividad antagónica. El aislado VC 99, originario de la VRAC registró un 94.44 % de PICR, seguido del SSE 16, aislado de suelos sanos de la parcela orgánica “La Escondida” que obtuvo 93.69 % PICR. Los aislados de bacterias SST 21, SET 2 y SET 24 provenientes de suelos sanos y enfermos de la parcela convencional “La Tira” registraron 92.35, 92.33 y 91.97 % de PICR respectivamente. El aislado PO 73, originario de la piel de *E. foetida* de VRAO, registró 91.89 % de PICR; mientras la bacteria VC 93, aislada del vermicompost de la VRAC, presentó 91.31 % de PICR. El aislado SEE 6, de suelos de árboles enfermos de “La Escondida” presentó 90.09 % de PICR y por último la bacteria PO 75 de intestino de *E. foetida* registró 90.68 % de PICR. Los aislados SSZ 15, SEZ 7, SEZ 11, SSSA 39, SESA 32, PC 78, PC 81, PC 85, PO 63, PO 70, PO 71, PO 76, VO 103, VO 104, VO 108, VO 109 y VO 113, presentaron valores arriba del 80 % PICR. Estos aislados fueron estadísticamente igual de efectivos que *B. subtilis* que es de los géneros y especies más reportados en la literatura con presentar actividad antagónica contra *Fusarium* sp. En tanto en los ambientes de lixiviado e intestino de las VRAC y VRAO, no se encontraron bacterias con actividad antagónica. En los ambientes de piel y vermicompost de VRAC y VRAO, se encontraron 16 bacterias con actividad antagónica. Así, las bacterias que mostraron mayor actividad antagónica contra *Fusarium* sp, fueron las obtenidas de las vermicompostas, seguidas de las de suelo. Lo cual anterior muestra que, el vermicompost puede resultar además de un biofertilizante, un coadyuvante para el control de enfermedades, por la diversidad bacteriana que presenta actividad antagónica contra patógenos.

7.4.7. Literatura citada

- Acharya, T., & Hare, J. (2022). Sabouraud agar and other fungal growth media. In *Laboratory Protocols in Fungal Biology: Current Methods in Fungal Biology* (pp. 69-86). Cham: Springer International Publishing.
- Akhgar, A. R., Arzanlou, M., Bakker, P. A. H. M., & Hamidpour, M. (2014). Characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase-

- containing *Pseudomonas* spp. in the rhizosphere of salt-stressed canola. *Pedosphere*, 24(4), 461-468. DOI: [10.1016/S1002-0160\(14\)60032-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60032-1)
- Alvarez, E. C., & Sánchez, L. C. (2016). Evaluación del crecimiento de cuatro especies del género *Bacillus* sp., primer paso para entender su efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. *Nova*, 14(26), 53-62.
- Blanco, E. L., & Castro, Y. (2021). Antagonismo de rizobacterias sobre hongos fitopatógenos, y su actividad microbiana con potencial biofertilizante, bioestimulante y biocontrolador. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 6-16.
- Cordero-Ramírez, J. D., López-Rivera, R., Figueroa-Lopez, A. M., Mancera-López, M. E., Martínez-Álvarez, J. C., Apodaca-Sánchez, M. Á., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2013). Native soil bacteria isolates in Mexico exhibit a promising antagonistic effect against *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Journal of Basic Microbiology*, 53(10), 838-847.
- Corrales, L. C., Sánchez, L. C., Cuervo, J., Joya, J. A., & Marquez, K. (2012). Efecto biocontrolador de *Bacillus* spp., frente a *Fusarium* sp., bajo condiciones de invernadero en plantas de tomillo (*Thymus vulgaris* L.). *Nova*, 10(17).
- Guevara-Avenidaño, E., Bejarano-Bolívar, A. A., Kiel-Martínez, A. L., Ramírez-Vázquez, M., Méndez-Bravo, A., von Wobeser, E. A., ... & Reverchon, F. (2019). Avocado rhizobacteria emit volatile organic compounds with antifungal activity against *Fusarium solani*, *Fusarium* sp. associated with Kuroshio shot hole borer, and *Colletotrichum gloeosporioides*. *Microbiological research*, 219, 74-83
- Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 1127500. DOI: [10.1080/23311932.2015.1127500](https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127500).
- Kanchiswamy, C. N., Malnoy, M., & Maffei, M. E. (2015). Chemical diversity of microbial volatiles and their potential for plant growth and productivity. *Frontiers in plant science*, 6, 151.

- Kiyasudeen S, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., Ahmed Ismail, S., S, K. K., Ibrahim, M. H., ... & Ismail, S. A. (2016). Vermicompost, its applications and derivatives. *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*, 201-230.
- Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2008). *The Fusarium laboratory manual*. John Wiley & Sons.
- Liu, D., Liu, D., Liu, L., Wang, Y., & Zhang, Y. (2021). Screening and identification of antagonistic bacteria from vermicompost against *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(4), 266-272.
- McGovern RJ. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop Prot.* 73:78–92.
- Migliani, R., Parveen, N., Bisht, S. S., Panda, A. K., Bala, M., Upadhyay, J. & De Mandal, S. (2021). Earthworm Gut Microbiome: The Uncharted Microbiome. In *Metagenomics and Microbial Ecology*. 91-104.
- Morales-Barrón, B. M., Vázquez-González, F. J., González-Fernández, R., Mora-Covarrubias, A. D. L., Quiñonez-Martínez, M., Díaz-Sánchez, Á. G., ... & Valero-Galván, J. (2017). Evaluación de la capacidad antagonica de cepas del orden bacillales aisladas de lixiviados de lombricomposta sobre hongos fitopatógenos. *Acta universitaria*. 27(5): 44-54.
- Moreno-Limón, S., González-Solís, L. N., Salcedo-Martínez, S. M., Cárdenas-Avila, M. L., & Perales-Ramírez, A. (2011). Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotánica*, (32), 193-205.
- Nivya, R. M. (2015). A study on plant growth promoting activity of the endophytic bacteria isolated from the root nodules of *Mimosa pudica* plant. *Int J Innov Res Sci Eng Technol*, 4(8), 6959-6968.

- Ramírez R, S., Arias M, J. D., Bedoya, J. C., Rueda L, E. A., Sánchez, C. Y., & Granada G, S. D. (2015). Metabolites produced by antagonistic microbes inhibit the principal avocado pathogens in vitro. *Agronomía Colombiana*, 33(1), 58-63.
- Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* f. sp. apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 42(1), 115-126.
- Sharifi, R., & Ryu, C. M. (2016). Are bacterial volatile compounds poisonous odors to a fungal pathogen *Botrytis cinerea*, alarm signals to Arabidopsis seedlings for eliciting induced resistance, or both?. *Frontiers in microbiology*, 7, 196.
- Singh, R.P., Jha, P.N., 2015. Molecular identification and characterization of rhizospheric bacteria for plant growth promoting ability. *Int. J. Curr. Biotechnol.* 3: 12–18
- Sivasabari, K., Parthasarathy, S., Chandran, D., Sankaralingam, S., & Ajaykumar, R. (2023). Vermicompost and Vermi-leachate in Pest and Disease Management. In *Vermicomposting for Sustainable Food Systems in Africa*. 279-304. Singapore
- Soltan, H. A. H., Dakhly, O. F., Mahmoud, M. A., & Fayz, Y. F. (2022). Microbiological and genetical identification of some vermicompost beneficial associated bacteria. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 4(1), 21-36.
- Tian, G. L., Bi, Y. M., Jiao, X. L., Zhang, X. M., Li, J. F., Niu, F. B., & Gao, W. W. (2021). Application of vermicompost and biochar suppresses *Fusarium* root rot of replanted American ginseng. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6977-6991.
- Vega-Torres, M. G., Ruiz-Cisneros, M. F., Pérez-Corral, D. A., Berlanga-Reyes, D. I., Ornelas-Paz, J. J., Rios-Velasco, C., & Denise-Revérchon, F. L. (2019). Actividad antifúngica in vitro de microorganismos antagonistas contra *Fusarium oxysporum* de rizosfera de árboles de aguacate en Xalisco, Nayarit, México. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 37, 57-64.

Wang, X., Wang, C., Li, Q., Zhang, J., Ji, C., Sui, J., & Liu, X. (2018). Isolation and characterization of antagonistic bacteria with the potential for biocontrol of soil-borne wheat diseases. *Journal of Applied Microbiology*, *125*(6), 1868-1880.

Win, T. T., Bo, B., Malec, P., & Fu, P. (2021). The effect of a consortium of *Penicillium* sp. and *Bacillus* spp. in suppressing banana fungal diseases caused by *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. *Journal of Applied Microbiology*, *131*(4), 1890-1908.

Zakaria L, Leong SK, Latiffah Z, Baharuddin S. Molecular Characterization of *Fusarium Oxysporum* F. Sp. Cubense of Banana. *Am J Appl Sci*. 2009;6(7):1301–7.

VIII. Discusión general

En esta investigación se obtuvieron 108 aislados bacterianos de diferentes ambientes (ABDA); 15 de suelo de árboles de sanos y enfermos (SASYE) de parcelas de aguacate con manejo agronómico convencional (MAC), 20 de SASYE de parcelas de aguacate con manejo agronómico orgánico (MAO), cinco de lixiviado, nueve de intestino, 12 de piel de *E. foetida* y 10 de vermicompost de la vermicomposta con residuos de aguacate convencional (VRAC), también se encontraron cinco del lixiviado, ocho de intestino, diez de piel de *E. foetida* y 14 del vermicompost de la vermicomposta con residuos de aguacate orgánico (VRAO). En la morfología macroscópica solo se encontraron diferencias entre los aislados de suelos de parcelas de aguacate con MAC, MAO, VRAC, VRAO en la elevación y color. Las bacterias aisladas de vermicompostas presentaron pigmentaciones amarillas claras y cafés, en tanto, en la morfología microscópica de los ABDA, se presentaron cocos, cocobacilos, bacilos largos, anchos y esporulados. Lo anterior indicó que entre los suelos de parcelas de aguacate con MAC y MAO existe similitudes de la morfología bacteriana, debido a que solo se estudió suelo rizosférico de aguacate, lo cual puede influir en las características similares en morfológicas de las bacterias (Prashar *et al.*, 2014). Mientras que en los aislados bacterianos de VRAC y VRAO se encontraron bacterias con pigmentaciones amarillas claras y cafés debido a los residuos vegetales añadidos (Kumar *et al.*, 2024). Por lo tanto, las bacterias de suelos de MAC, registraron ocho Gram positivas, siete Gram negativas y en los aislados de suelos de MAO, fueron 10 Gram positivas y 10 Gram negativas; pero en los aislados bacterianos de VRAC, hubo 26 Gram positivas, 12 Gram negativas y en las bacterias de

VRAO, se presentaron 24 Gram positivas y 13 Gram negativas. Lo anterior indicó que, en los suelos de diferente manejo agronómico no existió diferencia entre los Gram positivos y negativos, pero en las bacterias de las vermicompostas si hubo diferencia ya que dominaron las Gram positivas. En tanto en el índice de diversidad bacteriana de Shannon (IDBS), en el vermicompost de VRAO registró 3.5 de IDBS; mientras que en los suelos con MAO fue de 2.44 IDBS, valores diferentes a los de 2.26 del IDBS del vermicompost de la VRAC, 1.75 de IDBS de los suelos de MAC. Así el vermicompostaje de residuos de MAO, presentó una alta diversidad bacteriana.

De los 108 ABDA, solo 12 bacterias solubilizaron fósforo, una de suelos de árboles sanos de la parcela convencional “El Zapote”, tres aislados de suelos sanos y cinco de suelos enfermos de la parcela orgánica “San Antonio”, una del lixiviado de VRAC y dos de la piel de *E. foetida* de VRAO, donde el aislado 32 de suelos enfermos San Antonio registró el valor más alto de 4.32 del índice de solubilización de fósforo (ISF) que fue estadísticamente superior al 2.43 del control positivo *B. thuringiensis*. Posteriormente en la actividad fosfatasa ácida el aislado 40 proveniente de MAC de suelo sano de “El Zapote” 40 registro 18.57 $\mu\text{g/mL}$ del P- nitrofenilfosfato (PNF) valor estadísticamente distinto al 10.22 $\mu\text{g/mL}$ del PNF de *B. thuringiensis*, en la actividad fosfatasa alcalina la bacteria 26 de lixiviado de vermicomposta convencional reportó 16.13 $\mu\text{g/mL}$ del PNF, valor numérico estadísticamente diferente al 3.95 $\mu\text{g/mL}$ de PNF de *B. thuringiensis*. En la solubilización de calcio solo 18 bacterias realizaron solubilización de calcio: seis de SSYE de la parcela orgánica “San Antonio”, dos del lixiviado y tres del vermicompost de VRAC, dos del lixiviado y tres de la piel de *E. foetida* de la VRAO. El aislado 26 del lixiviado de VRAC registró 7.60 del índice de solubilización de calcio (ISC) seguido de la bacteria 42 de suelo enfermo “San Antonio” que obtuvo 6.33 del ISC, estos valores fueron estadísticamente diferentes al 2.93 ISC de *B. thuringiensis*, En la fijación biológica de nitrógeno se mostró que de los 108 ABDA solo 17 superaron los 120 ppm de NO_3^- ; que fueron el 27, 30, 25 y 26 del lixiviado y el 96 originario del vermicompost de la VRAC reportaron 165, 202, 142, 175 ppm de NO_3^- y los aislados 29, 22, 20, 28, 100, 111, 112 y 113 del lixiviado y VRAO registraron 185, 127, 136, 122 y 123 ppm de NO_3^- . En la evaluación de los ABDA en jitomate los aislados 99, 97 y 109 del vermicompost de VRAC y VRAO superaron los 17 cm de AP, mientras *S. lycopersicum* inoculada con los aislados de vermicompost de VRAO registraron valores de 13 cm de LR,

en tanto, la inoculación de aislados de intestino y vermicompost de VRAO incrementaron a 2 mm de diámetro del tallo; los aislados de vermicompost de VRAC y VRAO aumentaron a 11 el número de hojas. En el PFT de las plantas inoculadas con los aislados de ambas vermicompostas fue de 1 g, mientras en el PST registraron 0.166 g. Los valores numéricos anteriores fueron estadísticamente superiores a los registrados por las plantas inoculadas con los aislados de suelos de MAC y MAO que reportaron valores inferiores a 7 cm de AP, 8 cm de LR, 1.80 mm de diámetro del tallo, 6 hojas, 0.450 g de PFT y 0.060 g de PST. Lo anterior concordó con lo mencionado por Sinha et al. (2010) donde indicaron que el vermicompost es rico en comunidades bacterianas que llevan a cabo los mecanismos de solubilización de fosfato, calcio y fijación biológica de nitrógeno para potencializar el efecto promotor de crecimiento vegetal.

En tanto, en la evaluación de los mejores aislados que solubilizaron fosfato, calcio y fijaron nitrógeno de los suelos de parcelas de aguacate con diferente manejo agronómico en germinación y floración en jitomate, la coinoculación en consorcio de las bacterias 39, 32 y 42 de SASYE de la parcela orgánica “San Antonio” tuvieron un efecto positivo, ya que se registraron 96 % de germinación de la semilla de jitomate y con la coinoculación de 42, 32 y 11 de SASYE de la parcela orgánica San Antonio y de suelos enfermos de la parcela convencional “El Zapote” reportaron un promedio de 5.7 flores a los 40 días después de la siembra valores estadísticamente superiores al control químico alimentado solución nutritiva Hoagland 50% y al tratamiento con el producto comercial a base de *Pseudomona* sp que registraron 56 y 53 % de germinación y 4.1 y 3.9 flores respectivamente. Lo que nos demostró que la inoculación en consorcio de bacterias rizosféricas poseen mecanismos directos de promoción de crecimiento vegetal para tener un efecto positivo en aumentar el porcentaje de germinación y el número de flores.

En la actividad antagónica, de los 108 ABDA, solo tres aislados de SSYE de parcelas de aguacate de MAC, presentaron actividad antagónica y estos aislados fueron el 21, 24 y 2 de SASYE de la parcela convencional “La Tira”, mientras en los suelos de MAO, solo dos aislados: 16 y 6 de SASYE de la parcela orgánica “La Escondida”; los aislados 93 y 99 del vermicompost de la VRAC junto con las bacterias 73 y 75 de la piel de *E. foetida* de la VRAO registraron valores superiores al 90 % de inhibición crecimiento radial (PICR) de *Fusarium*

sp, valores estadísticamente iguales con el 76.06 % de PICR de *B. subtilis*. Lo anterior indicó que tanto las bacterias aisladas de suelos de MAC, MAO, VRAC y VRAO, fueron igual o mejores inhibiendo el crecimiento de *Fusarium* sp. Lo que comprobó que tanto en la rizosfera de SSYE de parcelas de aguacate con MAC, MAO se encuentran bacterias poseen una relación benéfica entre planta-bacteria que las ayuda inhibir el crecimiento de *Fusarium* sp (Wang *et al.*, 2018). Por otro lado, en las vermicompostas se encontraron 17 aislados bacterianos que inhibieran más del 80 % el crecimiento de *Fusarium* sp, por lo anterior, se validó que el vermicompost es rico en bacterias inhibidoras de fitopatógenos de las plantas (Tian *et al.*, 2021).

IX. Conclusiones generales

En esta investigación se logró obtener 35 aislados de suelos de parcelas de aguacate de MAC, MAO y 73 aislados bacterianos de lixiviados, intestino, piel de *E. foetida* y de vermicompost de VRAC y VRAO, en donde, en el MAC y MAO, no influyeron en diferenciar las características morfológicas macroscópicas (MMA) y microscópicas (MMI) de las bacterias; mientras en los aislados bacterianos de vermicompostas los residuos vegetales de diferente manejo agronómico tampoco determino una sola característica MMA ni MMI. Mientras el IDBS el valor más alto fue de 3.5 del vermicompost de la VRAO, seguido del 2.26 del vermicompost de VRAO mientras en los suelos de MAO se registró un 2.44, posteriormente los suelos de MAC registraron 1.75 de IDBS, lo que comprueba que en los ambientes orgánicos como de suelos de MAO y vermicompostas existe mayor diversidad bacteriana comparado con el ambiente de suelos MAC.

En las pruebas *in vitro* realizadas para evaluar el potencial biológico de los ABDA se encontró que tanto en los ambientes de MAC, MAO, VRAC y VRAO hubo bacterias con mecanismos de solubilización de fosfato (SF), calcio (SC) y fijación biológica de nitrógeno (FBN). Donde 9 bacterias de SASYE de parcelas de aguacate de MAO y dos de VRAO registraron SF, 7 bacterias de SASYE de parcelas de aguacate de MAO, 5 aislados de VRAC y 5 bacterias de VRAO reportaron SC; pero en la FBN los aislados bacterianos que registraron valores mayores a 100 ppm de NO_3^- fueron los de lixiviados y vermicompost de las VRAC y VRAO. En la efectividad biológica los aislados de ambas vermicompostas

fueron los que tuvieron un efecto positivo en la inoculación de jitomate, ya que incrementaron la AP, LR y PFT junto con el PST. En el caso de la inoculación en consorcio de los mejores aislados de suelos aguacate que fueron dos bacterias del MAC y 5 aislados del MAO, reportó un efecto benéfico en incrementar el porcentaje de germinación y el promedio de flores del jitomate. Lo cual indicó que, en los ambientes orgánicos de suelos de MAO y de las vermicompostas existió mayor cantidad de bacterias con mecanismos de promoción de crecimiento vegetal.

De los 108 ABDA, solo 30 bacterias registraron actividad antagonista superior al 65 % del PICR de *Fusarium* sp, en donde 8 fueron de SSYE de parcelas de aguacate con MAC, 5 de suelos de MAO y 17 de vermicompostas, lo anterior nos comprobó nuestra hipótesis general donde mencionábamos que existiría mayor diversidad de bacterias con actividad antagonista en las vermicompostas.

Finalmente, se puede mencionar que el MAO y vermicompost poseen mayor cantidad de bacterias con potencial biológico para promover el crecimiento vegetal mediante diversos mecanismos directos e indirectos. Y que los residuos de las podas de aguacate son una opción rentable para la elaboración de las vermicompostas y obtener un vermicompost rico en nutrientes y diversidad bacteriana.

X. Literatura complementaria

- Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., Ruiz-Espinoza, F. H., Valdez-Cepeda, R. D., Preciado-Rangel, P., Fortis-Hernández, M., & González-Zamora, A. (2016). Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 143-149.
- Espejel-García, A., Ramírez-García, A. G., Balderrama, J. I. L., & Barrera-Rodríguez, A. I. (2022). Estrategia de desarrollo de proveedores de una empacadora de aguacate (*Persea americana* Mill) cultivar Hass en Michoacán, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 32(59).
- Ghiglione, C., Zumoffen, L., Dalmazzo, M. D. L. M., Strasser, R., & Attademo, A. M. (2021). Diversidad y grupos funcionales de insectos en cultivos de arroz y sus bordes bajo manejo convencional y agroecológico en Santa Fe, Argentina.

- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., ... & Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157.
- Kumar, A., Kumar, G., Ratna, S., & KUMAR, S. (2024). Microbiological characterization of plant growth promoting bacteria isolated from vermiwash and their possible utilization in chromium contaminated fields. *Annals of Plant and Soil Research*, 26(1), 56-63.
- Jangra, M., Sindhu, S., Sonika, R. G., & Batra, V. K. (2019). Studies on efficacy of vermicompost for the management of Polyphagotarsonemus latus (Banks)(Acari: Tarsonemidae) infesting chilli (Capsicum annum L.) in Haryana. *Pharm Innovat J*, 8, 86-89.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., & Van Der Putten, W. H. (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature reviews microbiology*, 11(11), 789-799.
- Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13, 63-77.
- Ravindran, B., Wong, J. W., Selvam, A., & Sekaran, G. (2016). Influence of microbial diversity and plant growth hormones in compost and vermicompost from fermented tannery waste. *Bioresource technology*, 217, 200-204.
- Schmid, M. W., Hahl, T., van Moorsel, S. J., Wagg, C., De Deyn, G. B., & Schmid, B. (2018). Rhizosphere bacterial community composition depends on plant diversity legacy in soil and plant species identity. *BioRxiv*, 287235
- Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., & Valani, D. (2010). The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers. *Agricultural sciences*, 1(02), 76.

- Tian, G. L., Bi, Y. M., Jiao, X. L., Zhang, X. M., Li, J. F., Niu, F. B., & Gao, W. W. (2021). Application of vermicompost and biochar suppresses *Fusarium* root rot of replanted American ginseng. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(18), 6977-6991.
- Yatoo, A. M., Rasool, S., Ali, S., Majid, S., Rehman, M. U., Ali, M. N., ... & Farooq, S. (2020). Vermicomposting: An eco-friendly approach for recycling/management of organic wastes. *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*, 167-187.

XI. Anexos.

XI.1. Análisis fisicoquímicos de los suelos de parcelas de aguacate con manejo convencional y orgánico

Cuadro 28. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela convencional “El Zapote”.

Análisis físicos			
Granulometría (%)		Color	
Arcilla	13.96	En seco	Café
Limo	30	En húmedo	Café oscuro
Arena	56.04	Densidad (g cm⁻³)	
Clase textual	Suelo Franco arenoso	D. aparente	0.88
Interpretación	Suelo medio	D. real	2.00
		Porosidad (%)	55.9
Análisis químicos		Interpretación	
pH	6.10	Mod. ácido	
pH en solución CaCl ₂	5.5	Ácido	
C. E. (dS/m)	0.7	No salino	
Materia orgánica (%)	6.24	Muy alto	
Carbonatos totales (%)	2.49	Mod. bajo	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	24.41		
	ppm		
Nitrógeno inorgánico	121.69	Muy alto	
Fósforo	35.55	Mediano	
Potasio	2,289.130	Muy alto	
Calcio	2,387.84	Mediano	
Magnesio	793.50	Mod. alto	
Sodio	28.12	Bajo	
Hierro	56.36	Muy alto	
Zinc	7.46	Alto	
Manganeso	38.80	Alto	
Cobre	25.62	Muy alto	

Cuadro 29. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela convencional “La Tira”.

Análisis físicos			
Granulometría (%)		Color	
Arcilla	59.96	En seco	Café
Limo	18	En húmedo	Café oscuro
Arena	22.04	Densidad (g cm⁻³)	
Clase textual	Arcilloso	D. aparente	0.83
Interpretación	Suelo pesado	D. real	2.50
		Porosidad (%)	66.7
Análisis químicos		Interpretación	
pH	5.78	Mod. ácido	
C. E. (dS/m)	0.9	No salino	
Materia orgánica (%)	5.50	Muy alto	
Carbonatos totales (%)	3.19	Moderadamente bajo	
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	16.90		
	ppm		
Nitrógeno inorgánico	117.57	Muy alto	
Fósforo	302.88	Alto	
Potasio	1,365.280	Alto	
Calcio	1,506.27	Moderadamente alto	
Magnesio	585.42	Alto	
Sodio	18.38	Bajo	
Hierro	73.27	Muy alto	
Zinc	16.16	Muy alto	
Manganeso	46.10	Alto	
Cobre	15.41	Muy alto	

Cuadro 30. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela orgánica “La Escondida”.

Análisis físicos			
Granulometría (%)		Color	
Arcilla	11.96	En seco	Café
Limo	18	En húmedo	Café oscuro
Arena	70.04	Densidad (g cm⁻³)	
Clase textural	Franco Arenoso	D. aparente	0.86
Interpretación	Suelo medio	D. real	2.00
		Porosidad (%)	57.1
Análisis químicos		Interpretación	
pH	7.12	Neutro	
C. E. (dS/m)	0.5	No salino	
Materia orgánica (%)	9.81	Muy alto	
Carbonatos totales (%)	6.85	Moderadamente alto	
Capacidad intercambio catiónico (CIC)	39.17		
	ppm		
Nitrógeno inorgánico	110.01	Muy alto	
Fósforo	263.05	Muy alto	
Potasio	2,535.340	Muy alto	
Calcio	3,680.889	Moderadamente alto	
Magnesio	1,621.73	Muy alto	
Sodio	230.84	Muy alto	
Nitrógeno-mineral	51	Adecuado	
Hierro	53.33	Muy alto	
Zinc	79.18	Muy alto	
Manganeso	39.96	Alto	
Cobre	16.86	Muy alto	

Cuadro 31. Análisis fisicoquímico del suelo de la parcela orgánica “San Antonio”.

Análisis físicos			
Granulometría (%)		Color	
Arcilla	13.96	En seco	Café
Limo	24	En húmedo	Café oscuro
Arena	62	Densidad (g cm⁻³)	
Clase textural	Suelo Franco arenoso	D. aparente	0.83
Interpretación	Suelo medio	D. real	2.00
		Porosidad (%)	58.3
Análisis químicos		Interpretación	
pH	7.04	Neutro	
C. E. (dS/m)	0.5	No salino	
Materia orgánica (%)	10.64	Muy alto	
Carbonatos totales (%)	4.64	Moderado	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	42.02		
	ppm		
Nitrógeno inorgánico	102.44	Muy alto	
Fósforo	398.75	Muy alto	
Potasio	3,00.110	Muy alto	
Calcio	3,696.03	Mod. Alto	
Magnesio	1,774.91	Muy alto	
Sodio	300	Muy alto	
Hierro	60.95	Muy alto	
Zinc	78.28	Muy alto	
Manganeso	38.50	Alto	
Cobre	41.66	Muy alto	

De los resultados de esta tesis se han publicado y presentado en congresos y talleres de divulgación de ciencia los siguientes trabajos:

XI.2. Participaciones en congresos

XVIII Coloquio Internacional Multidisciplinario de Divulgación Científica 2023

Diferencias de lixiviados de vermicompostas con residuos de aguacate de parcelas orgánicas y convencionales

Adilene Velázquez-Medina¹, Ernestina Gutiérrez-Vázquez¹, & Luis López-Pérez¹

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Km 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro. Tarímbaro, Michoacán, México. Correo: 1129881h@umich.mx

Ponencia

Resumen

En la agroecología, el uso de enmiendas orgánicas es una práctica constante y diferentes productos son usados. Las compostas, vermicompostas y sus derivados como los lixiviados que se obtienen en su elaboración, son fuente importante de nutrientes para las plantas y mejoradores de suelos. Dependiendo de los productos con los que se elaboren las vermicompostas, será la calidad nutricional que aporte a los cultivos. Entre los principales nutrientes que aportan los lixiviados, se encuentran los nitratos (NO_3^-), fuente importante de nitrógeno para las plantas.; así mismo, los lixiviados, contiene cantidades importantes de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, que pueden distinguirse en los lixiviados por su color. En esta investigación se analizaron algunas propiedades de los lixiviados como su concentración de NO_3^- , color, pH y conductividad eléctrica (CE), de vermicompostas elaboradas con estiércol bovino y residuos de cosecha de huertas de aguacate con diferente manejo (convencional y orgánico). Se tuvieron los siguientes tratamientos: T1) residuos de aguacate orgánico (RAO) y estiércol bovino (EB); T2) con residuo de aguacate convencional (RAC) más EB y T3) un control con solo EB. Se vermicomposteo por seis meses y se colectaron los lixiviados a las 3 y 10 semanas de elaboración. Los lixiviados de 3 semanas del T3 tuvo 571 ppm de NO_3^- y a las 10 semanas aumentó a 671.5, le siguió el T2 con 554.37ppm a las 3 semanas y 610.62 ppm a las 10 semanas. El T1 tuvo 483.12 en las dos fechas de muestreo. El valor del pH y CE no mostró diferencia entre los tratamientos en las diferentes fechas de muestreo y obtuvo en promedio 8.5 y 6 dS/m respectivamente. El color de los lixiviados de acuerdo a la tabla de Munsell, fue en el T1 fue 7.5YR 6/8 (marrón amarillento) y 7.5YR 6/8 (amarillo parduzco), para T2 5YR 4/6 (marrón fuerte) y 5YR 3/4 (marrón oscuro) y para el T3 fue 10YR 5/6 (marrón amarillento) y 7.5YR 4/2 (marrón castaño), a las 3 y 10 semanas respectivamente. Las propiedades químicas y color de los lixiviados son diferentes dependiendo del origen del material vegetal vermicompostado. El

T2 de acuerdo a su color indica un mayor contenido de ácidos húmicos y huminas; en cuanto a la concentración de NO_3^- los valores no mostraron diferencia entre tratamientos.

Palabras clave: ácidos húmicos, agricultura orgánica, NO_3^- , vermicomposteo



La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
a través de la Unidad Profesional del Balsas



Otorga la presente:

Constancia

A: *Adilene Velázquez Medina, Ernestina Gutiérrez Vázquez,
Luis López Pérez*

Por su participación como PONENTE, en las actividades del XVIII Coloquio Internacional Multidisciplinario de Divulgación Científica 2023, con el Tema: *“Propiedades químicas de lixiviados de vermicompostas de residuos de cosecha de aguacate orgánico y convencional”*, celebrado del 24 al 27 de abril de 2023. (Valor curricular 48 horas).

Huetamo de Núñez, Michoacán de Ocampo, a 27 de abril de 2023.



UNIDAD PROFESIONAL DEL BALSAS
HUETAMO, MICHOACAN
DIRECCION

Mtro. David Eduardo Ruiz Silera
Director de la Unidad Profesional del Balsas

Dra. Yarabí Ávila González
Rectora



XVIII COLOQUIO INTERNACIONAL
MULTIDISCIPLINARIO DE
DIVULGACIÓN CIENTÍFICA 2023

Del 24 al 27 de abril

Evaluación de la fitotoxicidad de vermicompost y lixiviados en semillas de frijol, jitomate, trigo y maíz

Adilene Velázquez-Medina, Evangelina Esmeralda Quiñones- Aguilar, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez & Luis López-Pérez^{1*}

Resumen

El uso de vermicompost y lixiviados generalmente aceleran la germinación y estimulación del crecimiento vegetal debido a la gran cantidad de compuestos que contienen como aminoácidos y ácidos húmicos. Sin embargo, debido a su alta concentración y origen, algunas veces pueden resultar fitotóxicos. Por lo cual, el objetivo de esta investigación fue, evaluar la fitotoxicidad del vermicompost y lixiviados derivados de vermicompostas elaboradas con residuos de aguacate (*Persea americana*) de parcelas con manejo convencional y orgánico, en la germinación semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum estivum*) y maíz (*Zea mays*). El experimento consistió en evaluar el vermicompost de origen convencional (VC), orgánico (VO), lixiviado de la vermicomposta convencional (LC) y orgánica (LO) a concentraciones del 25 %, 50 % y 100 %. En cajas Petri con los distintos tratamientos, se pusieron 10 semillas de las diferentes especies y se mantuvieron en una cámara de crecimiento controlado. Todos los días se registró el porcentaje de germinación (PG), altura del hipocótilo (AH), longitud de la radícula (LR) y peso total (PT). A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$). Los resultados mostraron que, en los tratamientos, VC, VO, lixiviados al 50 % y 25 % aumentó el AH, LR, diámetro y PT de las semillas de jitomate, trigo y maíz comparados con el control. Mientras que, en las semillas de frijol se observó una disminución del 20 % en PG, en los tratamientos con lixiviados al 25 %, 50 %, 100 % respecto al control.

Palabras clave: germinación, residuos vegetales, manejo agronómico, *Eisenia foetida*.

¹Instituto de Investigaciones Agrónomas y Forestales (IIAF), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). *autor correspondiente: 1129881h@umich.mx, *luis.lopez.perez@umich.mx

²Laboratorio de Fitopatología. Unidad Biotecnología vegetal. Centro de investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A .C (CIATEJ)

XI.3. Publicación de artículo de divulgación

Revista temas de ciencia y tecnología de la Universidad Tecnológica Mixteca. Los microorganismos del suelo y su relación con las plantas. Adilene Velázquez-Medina, Evangelina Esmeralda Quiñones- Aguilar, Ernestina Gutiérrez-Vázquez, Nuria Gómez-Dorantes, Gabriel Rincón-Enríquez & Luis López-Pérez: (En proceso de publicación).

----- Forwarded message -----

De: temas <temas@mixteco.utm.mx>

Date: lun, 29 ene 2024 a las 13:26

Subject: Re: Fwd: Revista TEMAS de Ciencia y Tecnología

To: Luis Lopez Pérez <luis.lopez.perez@umich.mx>

Estimado Luis López Pérez

Le envío este correo solo para confirmarle de recibido su ensayo "Los microorganismos del suelo y su relación eterna con las plantas".

Su ensayo será revisado y pronto se le enviará el dictamen.

Saludos,

Atte: Dr. Alberto Antonio García

Director de la Revista TEMAS de Ciencia y Tecnología

XI.4. Participaciones en talleres de divulgación de la ciencia.



Gobierno
de Michoacán
INVESTIGACIÓN Y TRABAJO

El Gobierno del Estado de Michoacán,
a través del
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación,
en colaboración con la
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
otorga la presente

CONSTANCIA

a: Adilene Velázquez-Medina, Silvia León López, Anahí García Valdez, Evangelina Quiñones Aguilar, Ernestina Gutiérrez Vázquez, Nuria Gómez Dorantes, Gabriel Rincón Enriquez Y Luis López Pérez
Por su exposición de la actividad "Biotransformación de residuos orgánicos domésticos en organofertilizantes para plantas de jardín y Producción casera de hortalizas en hidroponía" en el Área de Desarrollos Científicos y Tecnológicos

En el marco de las actividades académicas del

17 CONGRESO
ESTATAL de
CIENCIA
TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN

y el

11 Encuentro
de Jóvenes
Investigadores
del Estado de Michoacán

Morelia, Michoacán · 28 de octubre de 2022


Dra. Alejandra Oschoa Zarzosa
DIRECTORA GENERAL
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación
del Estado de Michoacán


Dr. Raúl Cárdenas Navarro
RECTOR
Universidad Michoacana de San Nicolás
de Hidalgo

CECT10UER2230T44



Gobierno
de Michoacán
GOBIERNO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

El Gobierno del Estado de Michoacán,
a través del
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación,
en colaboración con la
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
otorga la presente

CONSTANCIA

Anahí García Valdez, Silvia León López, Adilene Velázquez Medina,
Raúl Cárdenas Navarro, Luis López Pérez.

a:

Por su exposición de la actividad "Producción casera de hortalizas en hidroponía"
en el Área de Desarrollos Científicos y Tecnológicos

En el marco de las actividades académicas del



y el



Morelia, Michoacán · 28 de octubre de 2022


Dra. Alejandra Ochoa Zarzosa
DIRECTORA GENERAL
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación
del Estado de Michoacán


Dr. Raúl Cárdenas Navarro
RECTOR
Universidad Michoacana de San Nicolás
de Hidalgo

CECT10UER223DT44



EL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
 DE LA UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
 CON EL AVAL
 SECRETARÍA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA Y EDUCACIÓN CONTINUA
 OTORGA LA PRESENTE



CONSTANCIA


A
QFB. Adilene Velázquez Medina
 POR HABER IMPARTIDO EL TALLER

PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN DE VERMICOMPOSTAS

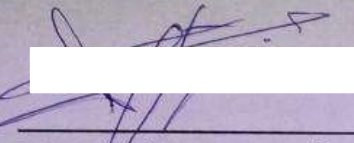
EN EL MARCO DEL DIPLOMADO

ESTRATEGIAS SOSTENIBLES PARA LA AGRICULTURA Y LOS BOSQUES

Agosto 2022


 DR. JORGE FONSECA MADRIGAL
 DIRECTOR del IIAF




 DRA. MARÍA LUISA ESPAÑA BOQUERA
 COORDINADORA del DIPLOMADO



Por medio de la presente se le extiende la presente CONSTANCIA a Adilene Velázquez-Medina por su valiosa participación como Divulgador(a) de la Ciencia con el taller “Aislamiento de bacterias promotoras de crecimiento vegetal”, a alumnos de nivel secundaria el día 30 de Mayo del presente año, de forma presencial en la Escuela Preparatoria Isaac Arriaga de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, con un valor curricular de 10 horas.

Morelia, Mich., a 10 de Julio de 2023

ATENTAMENTE

Dr. Joaquin Estevez Delgado
Coordinador del Programa Acercando la
Ciencia a tu Secundaria del Bachillerato Nicolaita
y Bachillerato de Puertas Abiertas

Folio: 20230501



El Gobierno del Estado de Michoacán,
a través del
Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación

otorgan el presente

RECONOCIMIENTO

a: **Adilene Velázquez Medina**

Por su exposición de la actividad "Bacterias aisladas de diferentes ambientes con actividad antagónica contra Collethotrichum gloesporioides y Phiythophthora cinnamomi, fitopatógenos que atacan aguacate " en el Área de Desarrollos Científicos y Tecnológicos

En el marco de las actividades académicas del
18º Congreso de Ciencia y Tecnología e Innovación y el
12º Encuentro de Jóvenes Investigadores

Dra. Alejandra Ochoa Zarzosa

Directora general del Instituto de Ciencia, Tecnología e
Innovación del Estado de Michoacán

DATOS DEL FIRMANTE

RFC: OOZA720610S70
NOMBRE: ALEJANDRA OCHOA ZARZOSA
NO CERTIFICADO: 00001000000512647018
CN:AUTORIDAD CERTIFICADORA
Folio: 5c381eb9-067b-51b1-98d1-cc5697a025f4
Email: aleccho@hotmail.com



FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA

nQ62f1w3BQF9/kruzRl+Q3BkP5dEEqy9l7w0N496PIUCKWlaj1yVKhaQhAuB7GKcEYEwUu01shH8JwXNGCcsHrj
czLk3wJrLEh8p7cbHn1AVPTYMpuQTEJYQ12+qYeRS4cQj6ZUjkr9FzGXA92eagm+IfqmLx78lyTaShVom+PWIWx
OgGHEA14ncTLzeFQ5CuM5FiuLo5kz4BWPaSsyXBgApLsX9PdThjUlskujUw5eVKr1ApMBb5UcLNzjhkaMcmwjlse
zAVeg8C0WG474U+5YJeDLR53eu0IAZpO6VJCTrCzMzaM2siHnZiANvhAbva03bsp3hz4Q==

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada del funcionario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha del presente, de conformidad con los artículos 18 de la Ley de Gobierno Digital del Estado de Michoacán de Coahuila; 38 fracción I y de fracción XI del Reglamento Interior de la Secretaría de Finanzas y Administración; 3º, 8 y 9 de la Ley de Firma Electrónica Avanzada; 1º y 2º fracción I, 4º, 5º, 6º, 14 fracción I, 15 fracción I, 8, 8, XII, XV, 20, 25, 26, 30 fracción II, 34, 37 y 38 de la Ley de Firma Electrónica Certificada del Estado de Michoacán de Coahuila; 7º, 8º, 11 y 18 del Reglamento de la Ley de Firma Electrónica Certificada del Estado de Michoacán de Coahuila; así como cada una de las legislaciones vigentes hasta la fecha. El formato PDF tiene una cantidad de 1 página incluyendo sello y se firma con fecha 06/11/2023, a las 10:00:08 hrs.

El presente documento electrónico ha sido firmado mediante el uso de la firma electrónica avanzada por el servidor público competente, amparada por un certificado digital vigente a la fecha de su expedición, y es válido de conformidad con lo dispuesto en los artículos 7º y 8º fracción I de la Ley de Firma Electrónica Avanzada y Artículo 13 de su Reglamento. Si presente documento electrónico, su integridad y autenticidad, se podrá comprobar en <https://datos.electronicos.michoacan.gob.mx/documentos/107720116687720116687720116687224715452224>.