

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



**ACTIVIDAD AGROBIOLÓGICA EN RESPUESTA A
LA APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTE PARA
UNA AGRICULTURA REGENERATIVA Y
SUSTENTABLE**

Tesis presentada como requerimiento para optar por el título de Maestro en
Estudios y Gestión Ambiental

Autor: **Biol. Tabita Ríos González**

Director: **Dr. Alfredo Granados Olivas**

Ciudad Juárez, Chih., a 17 de mayo de 2024

Revisión del Documento de Proyecto de Titulación por Director del Proyecto

(Requisito para enviarlo al Comité de Evaluación)

Después de haber revisado los aspectos técnicos, la estructura y formato del documento en general con título “*Actividad agrobiológica en respuesta a la aplicación de biofertilizante para la promoción de la agricultura regenerativa y sustentable*” que presenta el C. Tabita Ríos González, considero que se cumplen los requerimientos necesarios para que se proceda a su evaluación final ante el comité evaluador que designe la Academia del Programa de Maestría en Estudios y Gestión Ambiental.

ATENTAMENTE

Dr. Alfredo Granados Olivas
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
17/mayo/2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Nombre de Programa

Los miembros del sínodo, nombrado por la Academia del Programa de Nombre de Programa, habiendo realizado la evaluación del proyecto de titulación “*Actividad agrobiológica en respuesta a la aplicación de biofertilizante para la promoción de la agricultura regenerativa y sustentable*” que presenta el C. Tabita Ríos González, con matrícula 216956, como requisito parcial para acreditar la materia de Proyecto de titulación, manifiestan que ha obtenido una calificación de: / 6 puntos posibles (/ 3 documento escrito; / 3 presentación).

Director

Dr. Alfredo Granados Olivas

Evaluador

Mtra. Angelina Domínguez Chicas

Evaluador

Dr. Juan Pedro Flores Margez

Ciudad Juárez, Chih., a 17 de mayo de 2024

Dedicatoria

Primeramente, quiero dedicar el presente trabajo de maestría a una persona muy especial, que en cada proceso desde el inicio de elección del posgrado estuvo en conflicto interno de si pudiera o no lograrlo, sin embargo, al estar al frente del jurado respondió “sí, me comprometo a terminar la maestría”. De ahí, destacó su perseverancia, puso en práctica su paciencia e hizo uso de la tolerancia. A ella, que sintió el cansancio físico y mental, que tuvo que dejar de lado muchos momentos especiales por cumplir con el compromiso, a ella, que si no fuera por la ayuda de Dios dudo que haya podido culminar esta tempestuosa y hermosa travesía. A TABITA RÍOS GONZÁLEZ que, en vista del logro, ahora se lleva el gran acervo de conocimientos de cada uno de los excelentes docentes que participaron en nuestra maestría.

También es mi gusto dedicarles este trabajo a dos personas muy queridas y especiales para mí, el primero y muy cercano, mi hermano Leoncio Ríos González que me dio el empujón para realizar esta maestría y a mi tío Josué González Herrera que con mucho cariño me brindó obsequios que terminaron siendo de mucha ayuda para la realización de mis estudios, muchas gracias.

Agradecimientos

Deseo manifestar mi más sincera GRATITUD al DIOS que me da la vida, que permitió que este trabajo fuera posible, que sin duda alguna no me dejó desfallecer, en los momentos más difíciles, de necesidad y de falta de entendimiento, suplió y no me dejó. Por lo que también es mi sentir exclamar, todo lo puedo en Cristo que me fortalece (Fil. 4:13).

Agradezco cordialmente a mi asesor el DR. ALFREDO GRANADOS OLIVAS por permitirme ser parte de su equipo de trabajo de investigación, por darme accesibilidad a su cultivo de nogal El Rancho El Regalo en el que se enfoca esta tesis, además, GRACIAS por su enorme paciencia, por siempre estar al pendiente y creer en mí que como bióloga podría aportar información relevante a esta investigación, y así fue.

Muchas gracias a mi codirector el DR. JUAN PEDRO FLORES MARGEZ por su invaluable ayuda en los procedimientos de métodos de suelos en el laboratorio el cual está a su cargo, gracias por ayudarme en el análisis estadístico de esta tesis, y su paciencia al resolver todas mis dudas e inconvenientes en los análisis de resultados.

Agradezco a mi codirectora la MTRA. ANGELINA DOMÍNGUEZ CHICAS que sin duda alguna fue pieza clave en la estructuración de mi proyecto ya que siempre puso en orden la estructuración de esta investigación, GRACIAS por siempre estar presente en cada uno de los seminarios sus preguntas y sugerencias fueron de mucha ayuda. Además, no sé por qué de continuo tuve el recuerdo de que usted y el Dr. Felipe Adrián Vázquez Gálvez fueron las únicas personas que vieron aspectos positivos a mi proyecto en la masacre del primer seminario, por ello ¡muchas gracias!

Agradezco a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y al Programa de CONACYT, que me brindaron el apoyo necesario para poder realizar mi investigación.

Muchas gracias al señor Hipólito Estrada Elías, encargado del cultivo de nogal de San Isidro localidad del Valle de Juárez que me permitió acceder a sus parcelas para hacer el muestreo y que muy amablemente nos contó sobre todo el proceso que conlleva la producción de nuez pecana.

A la Maestra Laura Elena Santana Contreras, muchas gracias por brindarme su invaluable apoyo en el laboratorio, la accesibilidad no hubiera sido lo mismo si no me informaba si estaba o no ocupado. Además, gracias por aguantar mis histerias y mis alegrías al comprender algo que no entendía.

A sí mismo, AGRADEZCO a mi hermano el Licenciado Daniel Ríos González por haberme ayudado a trasladarme a cada uno de los cultivos y ayudarme a obtener las muestras.

Agradezco a mi hermano el Ingeniero Leoncio Ríos González por ayudarme en lo que a sistemas de cómputo respecta, eso fue de grande ayuda.

Agradezco a la Dra. Miroslava Quiñonez Martínez por siempre brindarme su apoyo y consejo que sin duda fue de suma importancia para la redirección de este proyecto.

A la maestra Gabriela Mendoza agradezco por iniciarme en los procesos del trabajo que se requería hacer en el laboratorio.

Al Dr. Luis Gerardo Bernadac Villegas gracias por auxiliarnos en el desarrollo de la tesis en sus clases de seminario, ya no se me va a olvidar usar la plantilla jeje, gracias por auxiliarnos en el proceso.

A mis amigos y colegas Carol Lilliam Muñoz Ávila y Alan Alexis Hinojos Loya que sin duda no sé qué hubiera sido sin ustedes, es difícil encontrar buenos compañeros y yo tuve la fortuna de encontrarlos a ustedes. Gracias por los consejos y recomendaciones, por escuchar mis inconvenientes y darles posibles respuestas especialmente a ti Carol que te molesté con cuestiones de química para corroborar lo que estaba haciendo. Se les aprecia chicos. ¡y por supuesto! ¡Las risas y alegrías no faltaron!

A el Dr. Alejandro Botello Camacho ex codirector de tesis de licenciatura que me hizo el favor de brindarme una carta de recomendación para la adscripción al programa de maestría y que concluyó en su texto de forma literal lo siguiente: Algo que destaca a Tabita es su constancia e independencia, además del compromiso que muestra ante las metas propuestas, lo que podría confundirse con obstinación, pero que enfocado de manera adecuada se vuelve tenacidad. Dichas palabras estuvieron presentes durante todo mi presente transcurso académico, dándome mucho ánimo.

Resumen

En años recientes se han analizado los efectos adversos de uso de fertilizantes inorgánicos, está documentado que estos agroquímicos llegan a ocasionar impactos negativos en los ecosistemas, así como a la salud humana. Por otra parte, la aplicación de lixiviados (biofertilizante) y vermicompost de lombriz roja californiana (*Esenia foetida spp*) permiten la reactivación agrobiológica de los sistemas microbianos en los suelos. Por esta razón, el objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad microbiana de los suelos de cultivo de nogal donde se aplicarán prácticas de agricultura regenerativa que permitan la mejora y cuidado de los suelos de la región. El experimento consistió en muestrear suelos con y sin biofertilizante durante dos periodos agosto y diciembre de dos cultivos de nogal (nuez pecanera) de gran importancia en Chihuahua, además de exponer el suelo sin tratar al lixiviado para observar su efecto directo del biofertilizante. Se trabajó con los factores fisicoquímicos del suelo y los parámetros ecofisiológicos usados para determinar la actividad microbiana los cuales, de estos fueron la respiración basal (RB), respiración inducida por sustrato (RIS), carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) y el cociente metabólico (qCO_2). El suelo expuesto a lixiviado y vermicompost en campo, presentó valores significativamente mayores en porcentaje de humedad, porcentaje de capacidad de retención de agua y pH; y los niveles más bajos fueron de conductividad eléctrica, porcentaje de cloruro de sodio, sólidos disueltos totales y nitrógeno inorgánico. Condiciones que posiblemente le permitieron obtener los valores significativamente mayores de respiración basal, respiración inducida por sustrato y biomasa microbiana, especialmente en el primer muestreo de agosto. Con respecto al cociente metabólico, este fue mayor en los suelos no expuestos al biofertilizante (grupo control) lo que indica que las poblaciones microbianas presentaron mayor estrés posiblemente por los niveles fisicoquímicos contrarios a los tratados con biofertilizante. En los tratamientos de suelo control expuestos a lixiviados obtuvieron los valores más altos de respiración basal, respiración inducida por sustrato y biomasa microbiana, y un valor menor en el cociente metabólico, excepto en el suelo del segundo muestreo que presentó los valores máximos en respiración inducida por sustrato y biomasa microbiana, en el grupo control sin lixiviado, además un cociente metabólico menor al expuesto al lixiviado. Se concluye que el uso de biofertilizantes aumenta la actividad y biomasa microbiana permitiendo el aprovechamiento de nutrientes nitrogenados en suelos de cultivos de nogal, mejorando así los parámetros ecofisiológicos. Por lo que esta investigación permite informar a los productores agrícolas en torno a los beneficios del uso de las prácticas de la agricultura regenerativa, las cuales son más productivas y menos contaminantes para el suelo. Por lo tanto, la implementación de este experimento permite la restauración del suelo y la mitigación del cambio climático, al disminuir el uso de fertilizantes químicos inorgánicos que dañan a los ecosistemas.

Contenido

Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	7
1.2.1. Área de estudio	7
1.3. Objetivos.....	8
1.3.1. Objetivo general.....	8
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4. Justificación	9
1.5. Hipótesis	10
Capítulo 2. Marco teórico	11
2.1. Generalidades de la agricultura.....	11
2.1.1. Características generales del suelo.....	12
2.1.2. Erosión del suelo.....	13
2.1.3. Microecosistema	14
2.1.4. Manejo de los recursos hídricos en los cultivos agrícolas	15
2.2. Agricultura regenerativa y sustentable.....	15
2.2.1. Principios básicos para una agricultura sustentable.....	15
2.2.2. Metodologías para la aplicación de la sustentabilidad en la agricultura.....	16
2.3. Fertilizantes.....	17
2.3.1. Efectos en el ambiente por el uso de fertilizantes.....	18
2.4. Biofertilizantes.....	19
2.4.1. Clasificación de los biofertilizantes	19
(a) Hongos	19
(b) Bacterias.....	20
2.4.2. Lixiviado de lombriz y vermicompost.....	20
2.4.3. Impacto de los biofertilizantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.....	21
2.4.4. Perspectiva del uso de biofertilizantes en México.....	21
2.5. Generalidades del Nogal.....	22
2.6. Parámetros de evaluación para la microbiología del suelo.....	23

2.6.1.	Técnica de respiración inducida por sustrato.....	23
2.6.1.	Parámetros microbiológicos.....	23
Capítulo 3. Metodología		25
3.1.	Muestreo. Obtención de muestras del Rancho El Regalo y de San Isidro localidad del Valle de Juárez, Chihuahua	25
3.1.1.	Obtención de muestras	26
3.2.	Análisis fisicoquímico general de suelo, agua y lixiviados del Rancho El Regalo y Valle de Juárez.....	30
3.2.1.	Caracterización fisicoquímica del suelo	30
(1)	Análisis de humedad.....	30
(2)	Capacidad de retención de agua (CRA).....	30
(3)	Determinación de textura por el procedimiento de Bouyoucos, método AS-09	31
(4)	Análisis de pH (Jackson 1964)	33
(5)	Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y solidos disueltos totales (SDT) por el método de Jackson (1964).	34
(6)	Análisis de nitrógeno inorgánico en el suelo	35
3.2.2.	Caracterización fisicoquímica del agua	36
(1)	Análisis de pH.....	36
(2)	Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y solidos disueltos totales (SDT)	36
3.2.3.	Caracterización del lixiviado de lombriz californiana.....	37
(1)	Análisis de pH.....	37
(1)	Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y solidos disueltos totales (SDT)	37
(2)	Análisis de nitrógeno.	38
3.2.4.	Cuidados del cultivo durante el experimento.....	38
3.3.	Determinación de actividad microbiana.	38
3.3.1.	Actividad microbiana para muestras en campo, del Rancho El Regalo.	38
3.3.2.	Respiración inducida por sustrato para tratamientos en campo Rancho El Regalo.	40
3.3.3.	Determinación de actividad microbiana, para tratamientos en laboratorio	42
3.3.4.	Respiración inducida por sustrato para tratamientos en laboratorio.	43
3.3.5.	Registro de datos y análisis estadístico.....	44
Capítulo 4. Resultados y Discusión		45
4.1.	Resultados del análisis fisicoquímico general de suelo, agua y lixiviados del Rancho El Regalo y Valle de Juárez.	45
4.1.1.	Caracterización fisicoquímica del suelo	45
(1)	Análisis de humedad.....	45

(2) Capacidad de retención de agua (CRA).....	49
(3) Textura del suelo.....	51
(4) pH del suelo	55
(5) Conductividad eléctrica (salinidad), %NaCl y SDT (Sólidos disueltos totales).....	56
(6) Nitrógeno inorgánico en el suelo	63
4.1.2. Caracterización fisicoquímica del agua	69
(1) Análisis de pH, Conductividad eléctrica (CE), %NaCl y SDT.....	69
4.1.3. Caracterización del lixiviado de lombriz californiana	69
(1) Análisis de pH, Conductividad eléctrica (CE), %NaCl, SDT, y Nitrógeno (N-NH ₄ , N-NO ₃ y N inorgánico)	69
4.2. Determinación de actividad microbiana.	69
4.2.1. Actividad microbiana para muestras en campo, del Rancho El Regalo.	69
4.2.2. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en campo Rancho el Regalo. 73	
4.2.3. Determinación de actividad microbiana, para tratamientos en laboratorio	77
4.2.4. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en laboratorio.	83
Capítulo 5. Conclusiones	96
5.1. Conclusiones del proyecto	96

Índice de figuras

Figura 1. Rancho El Regalo en el municipio de Ascensión, Chihuahua en las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica en Inteligencia Artificial [CeTraTecIA] Fuente: Galaviz, 2023.....	7
Figura 2. Campo de nogal de 45 años en San Isidro localidad del Valle de Juárez. Modificada de Google. Datos del mapa © 2024 INEGI.....	8
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología general.....	25
Figura 4. Zona de experimentación (Rancho El Regalo) los puntos negros son los árboles de nogal, los puntos rojos son los lugares de muestreo y los puntos azules señalan el posicionamiento de los sensores en el cultivo.	28
Figura 5. En esta imagen se muestra la forma en la que se colectaron los tres puntos para el tratamiento con lixiviados y los tres del control alrededor del árbol de nogal, con distancias de 45 cm y 2.50 m respectivamente.....	29
Figura 6. Zona de experimentación (San Isidro, Valle de Juárez) los puntos negros son los árboles de nogal y los puntos rojos son los lugares de muestreo.	29
Figura 7. Triángulo de texturas modificada de Fuente: U.S.D.A., 1977.	33
Figura 8. Forma de incubación de las muestras de suelo y posición de las trampas alcalinas (NaOH); el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo contenedor tiene suelo no expuesto a lixiviado y vermicompost y finalmente el último contenedor tiene suelo expuesto a lixiviado y vermicompost.	39
Figura 9. Titulación de trampas alcalinas con hidróxido de sodio (NaOH) a la solución de cloruro de bario ($BaCl_2$) más la adición de un indicador (fenolftaleína) y la posterior titulación con ácido clorhídrico (HCl) para la evaluación de CO_2 y respiración basal.	40
Figura 10. Diagrama del análisis de respiración inducida por sustrato; el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo contenedor tiene suelo no tratado con lixiviado ni vermicompost, y el tercer contenedor tiene suelo expuesto a lixiviado más la adición de glucosa al 8%.	41
Figura 11. Diagrama del análisis de respiración con trampas alcalinas con muestras no expuestas con anterioridad a biofertilizantes Rancho El Regalo y Valle de Juárez; el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo es suelo sin lixiviado y el tercer contenedor tiene lixiviado.	42
Figura 12. Porcentaje de humedad en las muestras después de colectadas en el primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	45
Figura 13. Porcentaje de humedad obtenido en las muestras después de colectadas en el segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	47
Figura 14. Porcentaje de humedad obtenido en las muestras después de colectadas del muestreo del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.	48
Figura 15. Capacidad de retención de agua CRA) del suelo obtenido en las muestras después de colectadas en el primer muestreo del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.	50

Figura 16. Capacidad de retención de agua (CRA) en suelo obtenido en las muestras después de colectadas en el segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.	50
Figura 17. Porcentaje de capacidad de retención de agua en suelo obtenido en las muestras después de colectadas en San Isidro localidad del Valle de Juárez, 6 de noviembre de 2022.	51
Figura 18. Lugares en los que resultó la prueba de textura de los suelos del Rancho El Regalo.	52
Figura 19. Textura de suelo en el lugar en el que se encuentran en el cultivo del Rancho El Regalo.	53
Figura 20. Se muestran los resultados obtenidos de tipo de suelo del monitoreo en Valle de Juárez.	54
Figura 21. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	55
Figura 22. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	56
Figura 23. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.....	56
Figura 24. Valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.....	57
Figura 25. Se muestran los valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	58
Figura 26. Valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.	58
Figura 27. Valores de cloruro de sodio en el suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	59
Figura 28. Valores de cloruro de sodio en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	60
Figura 29. Valores porcentuales de cloruro de sodio en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.	60
Figura 30. Valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	61
Figura 31. Valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	62
Figura 32. Se muestran los valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.	62
Figura 33. Valores de amonio en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	63
Figura 34. Valores de amonio en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.	64
Figura 35. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.....	64

Figura 36. Valores de nitratos en el suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.	65
Figura 37. Valores de nitratos en el suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.....	66
Figura 38. Valores de nitratos en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 del Valle de Juárez.....	66
Figura 39. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	67
Figura 40. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	68
Figura 41. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.....	68
Figura 42. Valores de CO ₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	70
Figura 43. Valores de CO ₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	71
Figura 44. Respiración basal (RB) después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	72
Figura 45. Valores de la respiración basal (RB) después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	73
Figura 46. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.....	74
Figura 47. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.	74
Figura 48. Carbono de biomasa microbiana C _{mic} de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.....	75
Figura 49. Carbono de biomasa microbiana C _{mic} de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	76
Figura 50. Cociente metabólico qCO ₂ obtenido de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	76
Figura 51. Cociente metabólico (qCO ₂) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	77
Figura 52. Valores de CO ₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	78

Figura 53. Valores de CO ₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	79
Figura 54. Valores de CO ₂ después de la incubación con trampas alcalinas de muestras con y sin biofertilizante colectadas el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.....	80
Figura 55. Respiración basal (RB) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	81
Figura 56. Respiración basal (RB) en los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.	82
Figura 57. Respiración basal (RB) en muestras de suelo colectado el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.	82
Figura 58. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.	83
Figura 59. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	84
Figura 60. Respiración inducida por sustrato (RIS) en suelo del Valle de Juárez obtenido el 6 de noviembre de 2022.....	84
Figura 61. Carbono de biomasa microbiana (C _{mic}) de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	85
Figura 62. Carbono de biomasa microbiana (C _{mic}) de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.....	86
Figura 63. Carbono de biomasa microbiana (C _{mic}) de suelo de Valle de Juárez colectado el 6 de noviembre de 2022.....	86
Figura 64. Valores del cociente metabólico (qCO ₂) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.	87
Figura 65. Valores del cociente metabólico (qCO ₂) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.	88
Figura 66. Valores del cociente metabólico (qCO ₂) obtenidos de suelo del Valle de Juárez el 6 de noviembre de 2022.....	88

Índice de tablas

Tabla 1. Corrección de temperatura establecido en la NOM-021-RECNAT-2000.....	32
Tabla 2. Clasificación del pH en suelos tomada de la NOM-021-RECNAT-2000	34
Tabla 3. Valores de salinidad en suelo, tomada de la NOM-021-RECNAT-2000.....	35
Tabla 4. Valores de Nitrógeno inorgánico, tomada de la NOM-021-RECNAT-2000	36
Tabla 5. Valores medios (\pm desviación estándar) de las variables fisicoquímicas del suelo en dos tratamientos, con biofertilizante (CB) y sin biofertilizante (SB), evaluados del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.....	46
Tabla 6. Valores medios (\pm desviación estándar) de las variables fisicoquímicas de suelo en dos tratamientos, con biofertilizante (CB) y sin biofertilizante (SB), del segundo muestreo del 3 de diciembre del 2022 en el Rancho El Regalo.....	47
Tabla 7. Valores medios de las variables fisicoquímicas de suelo sin biofertilizante (VJ SB) del muestreo del 6 noviembre del 2022 en el Valle de Juárez.....	49
Tabla 8. Porcentajes de arena, arcilla y limo de las muestras del Rancho El Regalo	52
Tabla 9. Porcentajes de arena, arcilla y limo de las muestras de San Isidro localidad del Valle de Juárez	54
Tabla 10. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo, con biofertilizante (CB1) sin biofertilizante (SB1).....	70
Tabla 11. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del segundo muestreo del 3 de diciembre del 2022 en el Rancho El Regalo, con biofertilizante (CB2) sin biofertilizante (SB2).	71
Tabla 12. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo tratado con lixiviado en el laboratorio, control con lixiviado (SB1 lx) y control sin biofertilizante (SB1 s).	78
Tabla 13. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo tratado con lixiviado en el laboratorio, control con lixiviado (SB2 lx) y control sin biofertilizante (SB2 s).	79
Tabla 14. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del muestreo del 6 de noviembre del 2022 en el VALLE tratado con lixiviado en el laboratorio (VJ lx) y control sin biofertilizante (VJ s).....	80

Simbología

RB: Respiración basal

RIS: Respiración inducida por sustrato

C_{mic} : Carbono de biomasa microbiana

qCO_2 : Cociente metabólico

CB1: Tratamiento con biofertilizante primer muestreo

CB2: Tratamiento con biofertilizante segundo muestreo

SB1: Tratamiento sin biofertilizante primer muestreo

SB2: Tratamiento sin biofertilizante segundo muestreo

SB1 lx: Tratamiento control con lixiviado primer muestreo

SB2 lx: Tratamiento control con lixiviado segundo muestreo

SB1 s: Tratamiento control sin lixiviado primer muestreo

SB2 s: Tratamiento control sin lixiviado segundo muestreo

VJ lx: Tratamiento del Valle de Juárez con lixiviado

VJ s: Tratamiento del Valle de Juárez sin lixiviado

Capítulo 1. Introducción

La agricultura es una técnica de siembra y cosecha de diferentes especies de plantas, que a través de los años el ser humano ha ido perfeccionando con técnicas y conocimientos que le permiten obtener los mejores resultados en la producción de alimentos (Vörösmarty y Sahagian, 2000). Algunos ejemplos de estas técnicas para mejorar los cultivos son: la selección de especies, la mejor semilla, la densidad poblacional de las plantas en el terreno, entre otras, lo que se convierte en prácticas de aplicación de agrotecnologías. Todas estas prácticas de la actividad agrícola son diseñadas técnicamente con un fin, optimizar la producción agroalimentaria para sustentar la demanda creciente de la población. Con el crecimiento demográfico a través de los años, la demanda de alimentos creció también, así, que los agricultores buscaron alternativas para producir más con menos en el mismo espacio de terreno, lo que ocasionó un agotamiento de los potenciales del suelo reflejados en una escasez de nutrientes afectando su productividad. La solución a ese problema resultó ser la aplicación de novedosos fertilizantes químicos que permiten generar cultivos consecutivos a corto plazo (Grageda *et al.*, 2012).

Los fertilizantes inorgánicos son sustancias químicas elaboradas por el hombre que se administran a cultivos intensivos con el fin de proporcionar nutrientes al suelo de tal forma que pueden ser absorbidos y aprovechados por las plantas para su rápido crecimiento. Si bien en un principio la aplicación de fertilizantes inorgánicos resultó positivo, las consecuencias a largo plazo del uso frecuente de estos productos se tornaron negativos ya que la asimilación por la planta no es mayor del 50 %, lo que provoca que el resto de las sustancias sean desaprovechadas y se dirijan a ocasionar daños en los ecosistemas, modificando directamente a los ciclos biogeoquímicos. (Armenta *et al.*, 2010). Por ejemplo, se conoce que, conforme a la Ley del mínimo de Liebig, los micronutrientes siempre predominan en el posible aprovechamiento del resto de los nutrientes existentes en el suelo; esto es, la mayor escasez de alguno de los micronutrientes es lo que controla la eficiencia de la fertilización en los suelos con respecto a los macronutrientes (Ochoa y Ochoa., 2019). Después de la revolución verde y al observar dichas alteraciones en el entorno y las pérdidas monetarias por el poco aprovechamiento de estos aditivos y la baja de la productividad de los cultivos, en fechas recientes se ha estado explorando regresar a las formas tradicionales de suministro de productos naturales a los suelos como los biofertilizantes. Estos productos de origen natural están formados de materia orgánica procesada por medio de biofertilizantes generados por lombricomposta las cuales aportan al suelo mejoradores microbiológicos principalmente identificados por hongos o bacterias (Palacios *et al.*, 2020). Esta actividad microbiana, permite la absorción de nutrientes a la planta con mayor facilidad donde, interactúan de manera efectiva con el ecosistema, permitiendo la desnitrificación en el caso de bacterias y la mineralización del carbono en el caso de los hongos. Es importante tener cultivos que desde la semilla tengan un

mayor índice de germinación, resistencia contra patógenos, rápido crecimiento, que desarrollen una buena copa foliar, y den alta productividad de frutos. Esto puede lograrse con un buen manejo de los requerimientos nutricionales del cultivo especialmente si se maneja de manera natural, ya que los microorganismos hacen simbiosis con las plantas y le ayudan a asimilar los nutrientes del suelo que de otra manera no podría realizar (Grageda *et al.*, 2012). Al ir suministrando biofertilizantes al suelo se reduce cada vez más el uso de fertilizantes químicos, y esto regenera una mejora en los suelos, de tal forma que existe una mayor retención de minerales y agua que son aprovechados eficazmente (Armenta *et al.*, 2010; Terry *et al.*, 2005).

Los hongos y bacterias contenidos en los biofertilizantes requieren condiciones apropiadas en el suelo para su óptimo desarrollo, por lo que el control del pH, salinidad, y humedad del sustrato son fundamentales (Soria *et al.*, 2001). De esta manera se procura analizar el agua y las cantidades que se suministran de la misma a los cultivos, para eficientizar la producción y disminuir el impacto negativo en el ambiente que se provoca por el mal uso de los recursos hídricos (Vörösmarty y Sahagian., 2000). Un suelo anegado puede afectar la población de bacterias, evaporar grandes cantidades de agua a la atmósfera y estresar el desarrollo de las raíces de las plantas. Por otro lado, el control de riego en un determinado suelo permite mejoras en el crecimiento radicular de la planta y consecuentemente más absorción de nutrientes, mayor crecimiento y producción debido al balance apropiado entre oxígeno y humedad en el suelo [capacidad de campo] (Menchaca y Alvarado., 2011).

1.1. Antecedentes

Un suelo enriquecido con nutrientes y microorganismos es la pieza clave para tener un mayor rendimiento en cultivos de cualquier especie, ya que estos requerimientos existen de manera natural y su función es nutrir y fortalecer a la planta. Por consecuencia en cultivos intensivos se han hecho investigaciones para corroborar las hipótesis planteadas sobre los beneficios de adición de sustancias agroecológicas como los lixiviados de lombriz, biofertilizantes con micorrizas o bacterias específicas, vermicompost., entre otros, que puedan sustituir a los fertilizantes químicos que tras varios años de uso dañaron los suelos, contaminan el ecosistema y además son más costosos.

Para ver los veneficios de los biofertilizantes se muestran los trabajos de Zermeño y colaboradores (2015) que realizaron experimentos en plantas de vid (*Vitis vinifera*) para evaluar los efectos de asimilación de bióxido de carbono (CO₂) tras la aplicación foliar de biofertilizante a base de extracto de algas marinas, esto aplicado en el suelo y de forma foliar. Los tratamientos fueron con y sin aplicación del biofertilizante. En el suelo fueron 2L ha⁻¹ de biofertilizante y 0.5L ha⁻¹ en vía foliar, en dos meses consecutivos marzo y abril. En el análisis estadístico la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones no pareadas ($p \leq 0.05$) mostró un aumento en la tasa de asimilación

de CO₂ en un 7.72% del tratamiento con biofertilizante, lo que se relacionó con el rendimiento de un 13.9% mayor en los frutos que en el tratamiento sin biofertilizante.

No obstante, Ramos y colaboradores (2019) hicieron estudios sobre la interacción de lombricomposta de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en suelo franco arenoso para tratar de recuperar la fertilidad del mismo, ya que se había utilizado para el cultivo intensivo por aproximadamente 29 años consecutivos donde se sembraron frijol, maíz y cacahuete en diferentes años; por lo que se evaluó el rendimiento del cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) en condiciones de campo con la exposición del fertilizante natural. El experimento se realizó en un solo año, donde se aplicó lombricomposta a base de estiércol, rastrojo de maíz y cacahuete, esto en cuatro diferentes dosis (300, 225, 150 y 75g) y como grupos controles tratamientos con uso intensivo (incluía fertilizantes químicos) y uno solo con cuidados agroecológicos. Además de realizar un diseño de bloques al azar ya que la parcela presentaba heterogeneidad y una pendiente de 15%; de las 36 plantas analizadas por tratamiento. En total fueron seis tratamientos con las tres dosis mencionadas anteriormente y con el análisis de varianza multivariado y univariado con prueba de comparación de Tukey ($P \leq 0,05$) de las que se obtuvo los resultados siguientes: en los tratamientos con lombricomposta (150 y 75g) se puede ver una mejoría en arena, espacios porosos del suelo y densidad real ($P=0.00$) lo que defirió con el grupo control que no presento esas características significativas. Además, en los resultados de propiedades químicas, los tratamientos adicionados con el lixiviado presentaron mayor disponibilidad de fósforo y potasio ($P = 0.00 - P = 0.02$). Con respecto al nitrógeno no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, se presentó baja capacidad de intercambio catiónico en los seis tratamientos ya que por el tipo de suelo aun presentaba poca materia orgánica y arcilla. También el pH aumento un poco en los tratamientos con lombricomposta a diferencia de los controles. En las propiedades biológicas presentaron mayores emisiones de CO₂ entre los tratamientos de 300, 225, y 150g ($P = 0.00$) lo que indica actividad microbiana. Y por último se encontraron cinco ordenes de artrópodos y uno de anélidos (*Hymenoptera*, *Coleoptera*, *Lepidoptera*, *Blattodea* (Isópteros), *Haplotaxida*), en mayores cantidades se encontraron las termitas (isópteros) y hormigas (*Hymenoptera*) aunque no se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. En las plantas emergidas de cacahuete hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.005$) favorecido los expuestos al abono orgánico, además, que la adición de este abono hizo que las plantas florecieran días antes y con mejor apariencia ($P=0.003668$) (92.3%). Lo que no fue significativo fue el resultado de pesos fresco y seco de follaje, raíz, fruto y número de frutos ($P=0.15$).

Por consiguiente, en los trabajos de Oliva y colaboradores (2019) se usó la semilla del maíz híbrido "Tuxpeño" (*Zea mays*) que se trataron a los 15 días después de germinada la planta. Los tres tratamientos que se utilizaron fueron: inoculación de micorrizas (Tec Myc 60) con vermicomposta de estiércol de vaca (V+M); solo vermicomposta (V) y fertilización química (CF). Una vez maduras las plantas, se cosecharon de forma manual y los frutos se analizaron en el laboratorio. Por tanto, se evaluó el efecto de la aplicación de vermicomposta sobre las características químicas, parámetros energéticos y rendimiento de aminoácidos de híbridos de maíz bajo condiciones de

campo y con lluvia de tiempo. De las 250 plantas que hubo por tratamiento se evaluaron 5 mazorcas para el análisis químico, cuyos resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Fisher con 5% de significancia. De las variables evaluadas solo en la cantidad de almidón presente en los granos fue significativamente mayor 1.9% en el tratamiento V+M en comparación con CF; en tanto que de los 17 aminoácidos evaluados 4 de ellos fueron mayores en el CF y similar al de V. En los parámetros energéticos no hubo diferencias significativas observándose solo ligeramente mayor en V+M.

Posteriormente en el trabajo de Chávez y colaboradores (2020) aplicaron *Trichoderma sp.* Nativa junto con lixiviado de estiércol bovino sobre un cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*), variedad SFL-11 en fase de semillero. En este proyecto se emplearon ocho tratamientos, con aplicación de *Trichoderma sp.*, fueron seis, del lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, fue uno, más el grupo control que fue uno. Se usaron cuatro replicas en bloques al azar. A los 25 días después de la siembra se hicieron las evaluaciones de número de hojas, pigmentos clorofílicos y masa foliar. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza con una comparativa de medias con la prueba de Duncan (nivel de significancia 5%). Finalmente se observó en los resultados un aumento en el número de hojas en un 9 a 22% en los tratamientos con *Trichoderma sp.*, mientras un 26% en el lixiviado esto, respecto al testigo (Duncan $p < 0,05$). De igual manera para los pigmentos clorofílicos fueron superiores de manera significativa ($p < 0,05$) en *Trichoderma sp* y lixiviados que en el testigo.

También, Chinga y colaboradores (2020) estudiaron el efecto de la aplicación de lixiviado de vermicompost extraído de compostaje de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Savigny) procesado de estiércol de bovino en plantas de algodón (*Gossypium hirsutum L.*), esto, durante el periodo de mayo septiembre 2019. En esta investigación se evaluó la altura de las plantas, diámetro del tallo, número de hojas, índice de clorofila, y número de bellotas, rendimiento por parcela estimado por ha^{-1} . El diseño fue en bloques al azar con cuatro repeticiones y seis tratamientos, los cuales incluían un tratamiento con fertilizante únicamente (15-15-15/N-P-K), dos con lixiviado en diferentes diluciones (1:20 y 1:30), además de otros dos con esas respectivas diluciones más el fertilizante químico y el suelo no tratado. Tanto el lixiviado como el fertilizante se aplicaron al suelo en los 10, 20 y 30 días después de germinación. En los resultados obtenidos se muestra una mayor altura en tratamientos con lixiviado y fertilizante Tukey ($p < 0,05$) (T4= Lixiviado 1:20 y fertilizante químico), en el diámetro del tallo y número de hojas hubo mayor diferencia significativa entre los tratamientos que contenían fertilizante químico que el testigo, y en el índice de clorofila los tratamientos con lixiviado indican mayor valor, aunque no es significativo con respecto al fertilizante químico. En referencia al número de bellotas fue mayor en los que contenían lixiviado que el fertilizante solo.

Luego, en los trabajos de Morel y colaboradores (2021) evaluaron la eficacia de la aplicación de biofertilizante en la semilla y después en la cobertura foliar de variedades de frejol (negro y carioca), en el que se utilizó un diseño en bloques completos al azar, para los tres tratamientos:

biofertilizante 1 (*Lactobacillus*, levaduras y actinomicetos) y biofertilizante 2 (*Lactobacillus*, levaduras, actinomicetos, pseudomonas, *Azospirillum* y *Bradyrhizobium*) y sin biofertilizante, con cuatro repeticiones cada uno y dosis de 500ml/20 litros (l) de agua. Esto fue aplicado en tres tiempos (20 días después de la emergencia al estado de plántula, día 30, antes de la floración, día 50 y en formación de vainas, día 70). Al término del experimento se evaluó la altura de las plantas, número de vainas por planta, número de gramos por vaina, peso de 1000 gramos y rendimiento de cultivo, usando un análisis de varianza (ANOVA) y se usó Tukey 5% para comparar medias. Con respecto a la altura, los tratamientos con biofertilizante superaron significativamente a los del testigo en las tres temporadas, incluso en la tercera temporada (día 70) fue mayor en el de biofertilizante 2 que en los otros dos tratamientos. En el número de vainas por planta, y rendimiento (kg ha⁻¹) fue mayor significativamente en el tratamiento de biofertilizante 2, en granos por vaina t peso de 1000 semillas (g) realmente no se encontraron diferencias significativas (Tukey al 5%).

En seguida, Mora y colaboradores (2021) trabajaron con cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) que por lo general suele requerir altas cantidades de fertilizante para lograr rendimientos económicamente aceptables. Esta especie se biofertilizó con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrizicos arbusculares. Los biofertilizantes que se utilizaron fueron de la marca Fosfotic® y Safer Micorrizas®, respectivamente en seis tratamientos y un con control fertilizado y los otros con diferentes dosis de fosforo más los biofertilizantes comerciales. Se realizaron cuatro réplicas de cada tratamiento en do etapas, la primera aplicación de 50% fue a los 20 días después de la plantación y los otros 50% en la etapa de deshierbe. Las variables que se evaluaron son: longitud del tallo, número de tallos brotados, número total de tubérculos por planta y su clasificación por calibre, así como el rendimiento total y por calibre, además de realizar un análisis económico de los tratamientos estudiados. Para analizar los resultados se usó un paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1, en ambiente Windows. Los niveles más altos en longitud de los tallos fue para los tratamientos que contenían en común Safer Micorrizas® $P \leq 0,05$ esto, también similar en el número de tallos brotados. En cuestión de los ingresos generados de costo beneficio por cada uno de los tratamientos según la hectárea, expresan ser positivos mayor en un 30% y un 26% y más aún en los tratamientos con micorrizas los cuales indican sustituir hasta un 70% la fertilización fosfórica.

En cuestión a investigaciones sobre el lixiviado a emplear en este trabajo, tenemos que Palacios y colaboradores (2020) estudiaron la composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida spp*) en cuatro tratamientos con diferentes concentraciones y su respectivo grupo control. El objetivo fue evaluar la concentración de micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, B, Cl y Mo) y macronutrientes (Mg, Ca, S, K, P y N) del lixiviado con diferentes aditivos por tratamiento (melaza (T1); suero de leche (T2); infusión de gobernadora (T3); melaza, suero y gobernadora (T4) y el testigo con estiércol de ovino. Las concentraciones se clasificaron como baja, media y alta para cada tratamiento. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de 4*3 (tratamientos * concentraciones) más el testigo, y posteriormente realizaron una comparación múltiple de las medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se observó en esta

investigación que el tratamiento T1 al que se le añadió melaza fue el que obtuvo los mejores resultados en 4 micronutrientes (Mn, Ni, B y Mo) y 3 macronutrientes (S, P y Ca); sin embargo, los cuatro tratamientos mostraron un incremento en el valor nutricional con respecto al testigo.

Paolini (2017) trabajó con suelo de cultivo de café (*Coffea arabica L.*) y tras analizar tres tratamientos de producción: tradicional, convencional y orgánico, con el método de respiración inducida por sustrato de trampas alcalinas, obtuvo como resultado mayores valores en respiración basal y biomasa microbiana en el suelo orgánico. Los valores que obtuvo de respiración microbiana fueron de 76.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, carbono de biomasa microbiana de 472 mg C_{mic} kg⁻¹ y un cociente metabólico de 7.9 mg C-CO₂ g⁻¹C_{mic} h⁻¹ mientras que en el grupo convencional donde se usaron fertilizantes químicos resultó en una respiración microbiana de 51.2. mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, carbono de biomasa microbiana de 246 mg C_{mic} kg⁻¹ y un cociente metabólico de 9.6 mg C-CO₂ g⁻¹C_{mic} h⁻¹ los cuales son resultados negativos. Por lo que enfatiza que el uso de fertilizantes y pesticidas afectan de forma negativa el bienestar de los microorganismos por lo que no hacen un uso eficiente del carbono y la energía en el suelo.

1.2. Planteamiento del problema

Los habitantes del municipio de Ascensión, Chihuahua, México, tienen grandes extensiones de terreno que tienen el potencial para ser cultivados, sin embargo, las técnicas de agricultura que se realiza hasta la fecha en nuestro país no implementan prácticas de cuidado y regeneración del suelo. Además, el uso de fertilizantes químicos termina dañando el suelo y contaminando los afluentes contiguos, por lo que se requiere implementar técnicas agroecológicas que permitan realizar una agricultura sustentable. Dicho esto, se presenta la siguiente pregunta: ¿El uso de biofertilizantes como el lixiviado de lombriz roja californiana es una alternativa a la solución para efectuar una agricultura regenerativa y sustentable?

1.2.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de materiales y en el laboratorio de ambiental del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, y el trabajo en campo se realizó en las instalaciones del proyecto de Microsoft® que se encuentra en el Rancho El Regalo en el municipio de Ascensión, Chihuahua en las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica en Inteligencia Artificial (CeTraTecIA) (**Figura 1**).

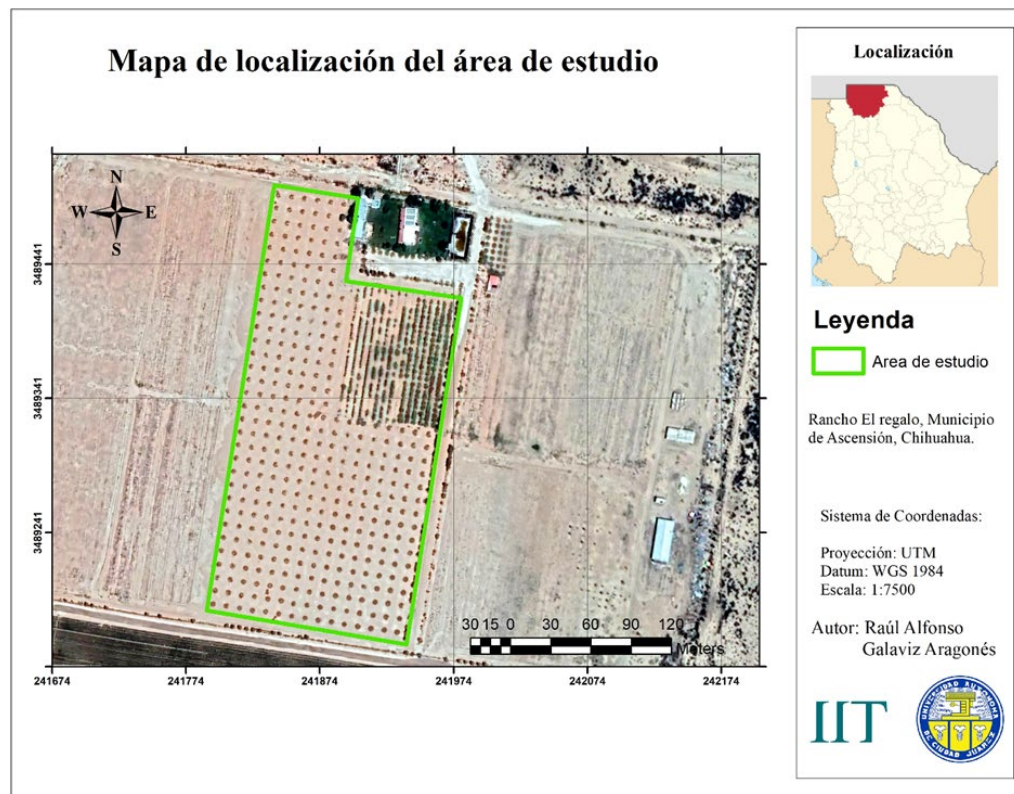


Figura 1. Rancho El Regalo en el municipio de Ascensión, Chihuahua en las instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica en Inteligencia Artificial [CeTraTecIA] Fuente: Galaviz, 2023.

El segundo lugar de estudio se encuentra en el norte del Estado, en San Isidro localidad del Valle de Juárez, Chihuahua (**Figura 2**).

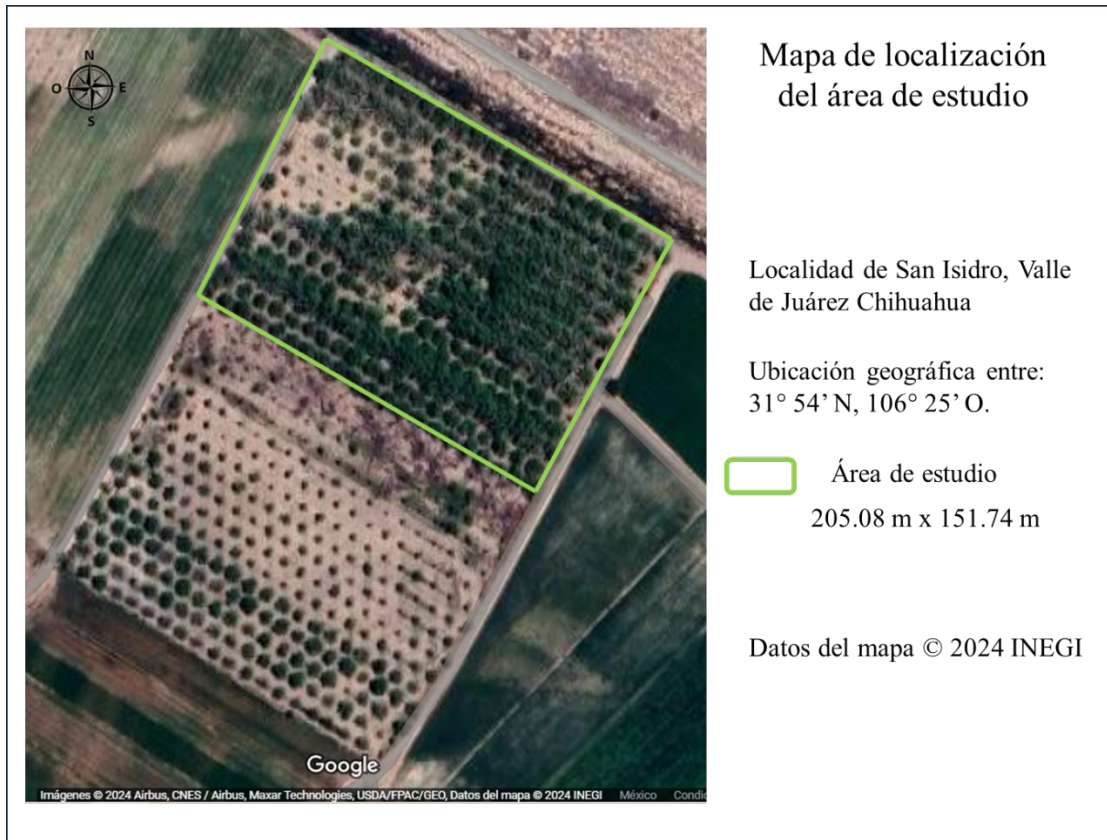


Figura 2. Campo de nogal de 45 años en San Isidro localidad del Valle de Juárez. Modificada de Google. Datos del mapa © 2024 INEGI.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la actividad agrobiológica en suelo en respuesta a la aplicación de biofertilizante para una agricultura regenerativa y sustentable.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar propiedades fisicoquímicas del suelo por los métodos descritos en la NOM-021-RECNAT-2000, el agua por el método descrito en la NOM-230-SSA1-2002, y lixiviado de lombriz por la Prueba colorimétrica con fotómetro de ultravioleta.

- Determinar la actividad microbiana por medio de la respiración por titulación de Warden de trampas alcalinas y la respiración inducida por sustrato en muestras con y sin lixiviado y vermicompost expuestas en campo.
- Contrastar el análisis de los actividad microbiana y respiración inducida por sustrato, con muestras control del Rancho El Regalo y Valle de Juárez expuestas al lixiviado en el laboratorio.
- Comparar propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en suelos con y sin lixiviados y vermicompost de lombriz roja californiana.

1.4. Justificación

En los últimos años el uso de los recursos naturales ha sido desmedido por el aumento de la población, los suministros alimenticios principalmente son más demandados, así que actividades económicas como la agricultura tienen que ver en la forma de producir más para abastecer la demanda. Para lograr esto, se usan técnicas que permiten generar más productos en el mismo terreno, aplicar fertilizantes y pesticidas químicos que aceleran el crecimiento y protegen los cultivos de plagas. Sin embargo, al pasar los años estas técnicas resultaron más dañinas para los cultivos y el ecosistema. Si no se incurre a un cambio de prácticas de cultivo más amigables con el ambiente, los recursos que le corresponden a las generaciones futuras ya no estarán disponibles para ellas y sufrirán de hambre por la escasez de alimentos. Entonces, es conveniente cambiar de estrategia e implementar tanto en la diversidad y rentabilidad de los cultivos, el uso de biofertilizantes que promuevan la relación entre planta y microorganismo, que les confieran mayor rendimiento a las plántulas permitiendo una mejor fijación del carbono al suelo (Santillana, 2006). Así, se podría disminuir y sustituir el uso de fertilizantes químicos por sustancias más amigables para el ecosistema que le aporten los nutrientes esenciales al suelo, contribuyendo al aumento de microorganismos fijadores que incluso ayuden a la captura del carbono y aminoren las aportaciones actuales de la agricultura al cambio climático.

Por lo tanto, en este trabajo de investigación aplicada se pretende generar información de la actividad agrobiológica del cultivo de nogal pecanero en el municipio de Ascensión, Chihuahua en respuesta a la aplicación de biofertilizantes, los cuales al tener buenos resultados puedan ser aplicados en los cultivos actuales y futuros y con esto generar prácticas de agricultura regenerativa que resulten más sustentables y amigables con el medio ambiente.

1.5. Hipótesis

La aplicación de biofertilizante de lombricomposta en suelos de cultivo de nogal pecanero aumenta la actividad microbológica y disponibilidad de nitrógeno en suelo.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Generalidades de la agricultura

La agricultura es una práctica que está dentro de los objetivos del milenio y que cada vez se vuelve más esencial para la subsistencia de nuestra especie. La meta para el desarrollo sustentable número 2 (SDG2 por sus siglas en inglés) establece que el agua es un elemento de negociación para las Metas del Desarrollo Sustentable y para la prosperidad y salud de la gente en el planeta. Sin embargo, es alarmante como el avance en las metas relacionadas con el agua se mantienen fuera de cauce, amenazando la totalidad de la agenda del desarrollo sustentable en donde se incluye la producción de alimentos. De tal forma que para alcanzar la meta SDG2 que atiende a la seguridad alimentaria, a la nutrición y a la agricultura sustentable, se requerirá de una filosofía holística para adoptar tecnologías de agricultura regenerativa (Fernández *et al.*, 2019) En las prácticas agropecuarias, se desarrollan técnicas y conocimientos sobre diversos cultivos de plantas que promocionan la producción de raíces, tallos, hojas, semillas, frutos, entre otros. Estos alimentos son de consumo diario que proveen nutrientes como grasas, proteínas y azúcares etc., que resultan esenciales para la vida. Las diversas variedades de alimentos que se utilizan en todo el mundo son investigadas para mejorar su rendimiento en el cultivo y así tener los mejores resultados en cada cosecha.

Entendiendo que en planeta Tierra el 71% de su superficie corresponde a la parte acuática y el 29% a la terrestre, solo el 13% de la misma se puede utilizar para la producción agrícola. En este sentido, del agua continental el 98% de los alimentos proviene del área agrícola y el 2 % del acuático. Sin embargo, a través de los años este porcentaje ha disminuido; por ejemplo, los cultivos representan tres tipos principales de crecimiento productivo: la expansión de territorio para cultivos, incremento de la frecuencia de cosechas y un aumento de los rendimientos (FAO, 2002).

La agricultura tiene el enorme reto de generar más alimento por área de producción y de esta forma satisfacer la demanda de la población que va cada vez en aumento, sin embargo, esto se pretende lograr sin contemplar la sostenibilidad de la producción (viabilidad técnica, rentabilidad económica y sin contaminación) (Grageda *et al.*, 2012). Así mismo, de esta manera, aunque resulta provechoso realizar cultivos intensivos para satisfacer las necesidades humanas, esta práctica resulta altamente contaminante, disminuyendo los recursos forestales, generando erosión del suelo, consecutivamente produciendo la pérdida de la biodiversidad ecológica, e impacto en el cambio climático por efecto de la producción de gases de efecto invernadero por la reactivación microbiana causada por las actividades de labranza intensiva en los suelos. Esto provocó que

disminuyera la superficie adecuada para la agricultura, causando graves problemas ecológicos, económicos y sociales.

Con respecto al impacto antropogénico que la agricultura representa en los ecosistemas, se puede observar que resulta en los primeros lugares de impacto ambiental y con efectos irreversibles, especialmente por el uso de sustancias sintéticas en el suelo, esto en conjunto con el uso inapropiado del agua en donde existe una baja eficiencia general la cual resulta en un ambiente deteriorado difícil de restaurar (Menchaca y Alvarado, 2011).

2.1.1. Características generales del suelo

Según la real academia de ciencias, el suelo es el conjunto de materia orgánica e inorgánica de la superficie terrestre, capaz de sostener vida vegetal. Este se encuentra dividido por capas denominados horizontes del suelo, compuestos por minerales meteorizados (arcilla, limo, guijarros y arena), materia orgánica, aire y agua. Así el suelo es el resultado final de las modificaciones climáticas, topográficas, materia parental, y organismos que con el tiempo influyen en las características del suelo. De esta manera el suelo presenta diferencias en color, textura, consistencia, estructura y propiedades fisicoquímicas y biológicas (FAO, 2021).

El suelo es la base fundamental para la vida, ya que aporta gran cantidad de nutrientes indispensables para la mayoría de los organismos vivos. El uso adecuado de los recursos minerales evita que el suelo se deteriore y se contamine con tóxicos; si no es así, se produce la degradación del suelo y con ello un efecto negativo en la producción primaria, afectando la cadena alimentaria de los ecosistemas, ya que las plantas no podrían desarrollarse correctamente (FAO, 2021). Las proporciones naturales de los cuatro elementos principales del suelo (minerales, materia orgánica, aire y agua) en donde la materia inorgánica y la materia orgánica, presenta hasta el 50% del volumen total. El otro 50% lo ocupa el agua (líquido) y aire (gas, nitrógeno y oxígeno) que se encuentran distribuidos en los espacios y poros del suelo, esto le va a permitir a la planta realizar una respiración aerobia a través de sus raíces (Fassbender, 1975; Tyler, 1994). La proporción de materia orgánica es diferente según el tipo de suelo. En suelos desérticos solo llega a representar aproximadamente el 0.5% del peso total; mientras que en la mayoría de los suelos de cultivo varía entre el 2 y 5%; en otros puede alcanzar 8 y 10 % y en casos extremos un 90 y 95 % (suelos turbosos). La materia orgánica disminuye con la profundidad del suelo y esto se puede ver reflejado en el perfil del suelo. La parte líquida en el suelo se distribuye según la humedad y textura entre un 15 y 35% de su volumen total, y puede variar en el punto de marchitez y el de la capacidad de campo; en esta humedad en el suelo se presentan elementos nutritivos en sus formas iónicas y otros como quelatos. La parte gaseosa de los suelos bien drenados tiene aproximadamente la misma composición que el aire atmosférico (80% nitrógeno, 20% oxígeno y otros gases raros); sin embargo, el contenido de anhídrido carbónico alcanza hasta el 0.1% y solo en casos en los que se

inunda el horizonte, el contenido anhídrido carbónico aumenta y llega a remplazar completamente al oxígeno (Fassbender,1975).

Los microorganismos que viven en el suelo como hongos y bacterias tienen la función de degradar sustancias orgánicas, como raíces, tallos y hojas muertas, así como productos de desecho y cuerpos muertos de animales. Al interactuar con la materia en descomposición producen enzimas diluidas en una sustancia gelatinosa, la cual acelera la degradación parcial de estos detritos. El producto final de este proceso resulta en un residuo de color pardo o café viscoso, poco soluble de materia orgánica no digerida llamado humus, y entre más plantas y animales vivan en el suelo más humus habrá en este. Su importancia también radica como retenedor de agua y nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas. Gracias a los espacios que deja el humus en el suelo, es posible la distribución del crecimiento de pelos radiculares, principalmente de hongos (micorrizas) que se asocian de forma simbiótica con otras plantas (Tyler, 1994).

2.1.2. Erosión del suelo

La erosión del suelo se presenta por fenómenos naturales en los que participa el agua y el aire, por ejemplo, las precipitaciones fluviales terminan siendo el factor más influyente de la erosión del suelo en media anual. Los territorios áridos tienen menos precipitaciones, así que la erosión es menor, además de que este impacto es absorbido por las pocas plantas que se encuentren en el ecosistema; sin embargo, la erosión eólica es significativa en estos territorios. En lugares con mucha precipitación anual (superior a los 1000 mm) propicia el crecimiento de plantas hasta generar una densa vegetación forestal que posteriormente ayuda a amortiguar la caída del agua a la tierra disminuyendo la cinética de las gotas y evitando la erosión. De esta manera la erosión más severa será en la que la precipitación media cae sobre territorios donde la vegetación es la misma o es escasa debido a la tala de árboles. En cuestión de la erosión eólica se deben cumplir dos factores de erosión para que se constituya un problema. Primeramente, solo se arrastrarán los suelos secos, de tal forma que las áreas más vulnerables son las que tienen media anual de precipitaciones baja. Consecutivamente los efectos más graves pueden ocurrir cuando prevalecen vientos constantes a todos los niveles, desde las capas altas hasta el nivel del suelo y eso se asocia con grandes masas de tierra (Hudson, 2006).

El problema con las técnicas modernas de agricultura es que al arar la tierra una y otra vez de forma intensiva, el suelo pierde agua, se erosiona y provoca mayor escorrentía (Vörösmarty y Sahagian, 2000). En cuestión de erosión de suelo-productividad se estima que la pérdida media mundial de 0.3% del rendimiento anual de los cultivos ocurre debido a la erosión. Si esto continúa de la misma manera, se espera que la reducción de la productividad de los suelos sea de un 10% del rendimiento potencial anual en el año 2050, lo que equivale a la eliminación de 150 millones de ha de producción de cultivos o 4.5 millones de ha al año lo que es similar a un campo de fútbol

cada cinco segundos. Las tasas medias de erosión hídrica en el suelo de cultivos fueron reducidas de 10.8 a 7.4 toneladas por hectárea al año entre 1982 al 2007, mientras que las tasas de erosión eólicas se redujeron de 8.9 a 6.2 toneladas ha año durante el mismo lapso. Estas dimensiones significativas en la reducción de la erosión ocurren donde la labranza mínima ha sido adoptada, tal como en áreas grandes en América Latina (FAO, 2015).

En muchas regiones de Latino América y el Caribe existen evidencias tangibles de las amenazas en función del suelo, entre ellas la erosión. Ésta se encuentra extendida por muchos lugares donde la tierra es removida y deforestada, especialmente para cultivos intensivos de pastizales y plantación de monocultivos. Además, el cambio de uso de suelo, la salinización y solidificación provocada por el suministro de agua, depende de las concentraciones de sal que ya venga adicionado a este. El desequilibrio de nutrientes en el suelo se debe principalmente por el uso continuo de siembra y cosecha, ya que esto no permite que la tierra repose y se recupere por sí misma. Esta situación en particular provoca que la microbiología del suelo disminuya, y con esto la absorción de nutrientes esenciales para la planta (FAO, 2015).

2.1.3. Microecosistema

Los microorganismos como hongos, bacterias, helmintos entre otros, son parte de la biota del suelo y todos realizan una función distinta que en conjunto favorecen a la sustentabilidad del sustrato y la viabilidad de este para que las plantas puedan hacer el segundo paso en la cadena de transferencia de energía (Grageda *et al.*, 2012). Así que para comprender como un suelo se mantiene sano se tiene que contemplar la participación de los microorganismos en él. Como un acercamiento natural con el ecosistema, la agricultura emplea el uso de biofertilizantes que contienen los microorganismos los cuales juegan un papel sustancial en el desarrollo de los cultivos, y que pueden sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes minerales. En este sentido entre estos productos se encuentran los fitoestimulantes (estimulan la germinación y el enraizamiento); los biofertilizantes (elevan la cantidad de nutrientes, especialmente de N₂ fijándolo en el suelo y la solubilización de elementos minerales o la mineralización de compuestos orgánicos, por ende es efectiva su participación en los ciclos biogeoquímicos); los mejoradores (mejoran la estructura del suelo por su contribución a la formación de agregados estables); los agentes de control biológico de patógenos, (desarrollan fenómenos de antagonismo microbio-microbio); biorremediadores (eliminan productos xenobióticos tales como pesticidas, herbicidas y fungicidas); y finalmente, los mejoradores ecofisiológicos, (incrementan la resistencia al estrés tanto biótico como abiótico) (Bowen y Rovira, 1999).

2.1.4. Manejo de los recursos hídricos en los cultivos agrícolas

El agua es un recurso indispensable para la vida de todo organismo, la dependencia para el ser humano es mayor incluso que los alimentos. En su aplicación a los cultivos a través de los diversos sistemas de riego, el agua se transporta desde el suelo a través de la raíz hasta la copa foliar, dónde se evapotranspira por la planta y regresa a la atmósfera. Con una mayor densidad vegetal es mayor el requerimiento de agua para sustentar dichos individuos, y dado la demanda de alimentos para la población humana la agricultura consume a nivel mundial aproximadamente un 85 al 90% de agua del total de 60 al 70 % del consumo mundial del agua extraída (Vörösmarty y Sahagian, 2000).

2.2. Agricultura regenerativa y sustentable

La agricultura ecológica busca cada vez más incorporar tecnologías naturales, y sacar el máximo provecho de la naturaleza que constan del suelo, los organismos vivos, la energía solar y los recursos hídricos. Los microorganismos eficientes como se les identifica recientemente actúan de forma benéfica en la agricultura y se encuentran naturalmente en el ambiente y pueden ser adicionados al sistema para incrementar el aumento microbiano del mismo. Los beneficios de contar con los microorganismos en el suelo, es que proveen a las plantas la disposición de los nutrientes ya desintegrados e incluso la asimilación de estos dentro de sus tejidos, esto le confiere a la planta incluso más resistencia contra los patógenos, los cuales podrían comprometer la productividad de los cultivos. Además, el uso de microorganismos eficientes contribuye de forma efectiva a la mayoría de las técnicas agrícolas de producción, minimizando los impactos ambientales, creando sistemas limpios, saludables, así como equilibrado y libres de residuos químicos (Lopes *et al.*, 2022).

2.2.1. Principios básicos para una agricultura sustentable

Las funciones de los microorganismos son muchas entre ellas se destacan la fijación de elementos como el nitrógeno y los solubilizadoras de fosfato. Estos, son utilizados en la actualidad para la fabricación de biofertilizantes, los cuales son productos biológicos de suma importancia para la agricultura ecológica lo que reduce la necesidad de aplicar productos químicos al suelo. Los microorganismos convierten los elementos necesarios para las plantas, de su forma no disponible a su forma disponible en la que estas pueden asimilar los nutrientes. Entre estos microorganismos están los hongos y las bacterias de vida libre o asociativas las cuales son excelentes para el uso de biofertilizantes (Beltrán y Bernal, 2022).

2.2.2. Metodologías para la aplicación de la sustentabilidad en la agricultura

La agricultura juega un papel muy importante para la contribución del desarrollo de los países en donde por ejemplo en Chile, se ha propuesto alimentar de forma saludable y sustentable a las personas de su país. Para ello tienen que integrar los recursos naturales al crecimiento económico y productivo, realizando una contribución positiva al medio ambiente y a la sociedad, al proteger y conservar la riqueza natural del país valorando su biodiversidad y territorio. En este contexto, el Ministerio de Agricultura de este país definió su misión como “posicionar al sector agroalimentario y forestal como un sector sustentable, productor de alimentos saludables, carbono neutral y de profundo impacto social a nivel local”, siendo uno de sus ejes estratégicos, la “producción sustentable, el agua y el cambio climático (Hernández y Acuña, 2021). A pesar de que muchas comunidades indígenas y campesinas son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático, algunas están respondiendo de manera proactiva, demostrando innovación y resiliencia mediante diversas estrategias para afrontar sequías, inundaciones y huracanes. Este artículo sostiene que los sistemas agrícolas tradicionales proporcionan una amplia variedad de opciones y métodos de gestión que aumentan la biodiversidad funcional en los campos, lo que refuerza la resiliencia de los agroecosistemas. Entre las estrategias agroecológicas tradicionales que disminuyen la vulnerabilidad a la variabilidad climática se encuentran la diversificación de cultivos, el mantenimiento de la diversidad genética local, la integración de animales, la incorporación de materia orgánica al suelo y la recolección de agua. Agroecólogos han identificado los principios agroecológicos que sustentan estas estrategias, los cuales pueden adaptarse en diferentes formas tecnológicas, dependiendo del tamaño de las fincas, para diseñar sistemas agrícolas modernos más resilientes a los fenómenos climáticos extremos.

2.3. Fertilizantes

El uso de fertilizantes en la agricultura contribuye al mejoramiento de los cultivos, a su alta productividad y consecutivamente al sostenimiento de la población mundial. Proporcionan los nutrientes necesarios para las plantas y les permite un desarrollo más acelerado contribuyendo así a la producción de biomasa. De esta manera, se obtienen materiales renovables como fibras, madera y biocombustibles. El uso de estas sustancias, principalmente agroquímicos, propicia la modificación de las propiedades físico-químicas del suelo para la producción agrícola, ya que le proporcionan al sustrato los requerimientos que carecen naturalmente para la nutrición de cultivos que se desarrollaran de manera intensiva, de esta forma participan en un 95% en la producción mundial de alimentos (FAO, 2019).

Los fertilizantes sintéticos comenzaron a consumirse aproximadamente desde 1950 hasta nuestros días y su precio ha ido aumentando a partir de 1990, esto por el incremento del precio del gas y del amoníaco en México, el cual se convirtió en un exportador neto de estos insumos desde el 2000 (Grageda *et al.*, 2000). Si bien los fertilizantes ofrecieron muchos beneficios en cuestión de una rápida producción de plántulas, el mal uso de ellos ocasiona grandes daños ecológicos que repercuten en el cambio climático mundial (FAO, 2019). Si no se deposita la cantidad de fertilizante correcta para la especie correspondiente, éste se desperdicia y termina con la saturación de sustancias químicas en el sustrato. Estos químicos, posteriormente con la aplicación de riego no controlado propician que los residuos se dirijan a las aguas subterráneas y superficiales. Adicionalmente generan contaminación de la calidad del aire y el agotamiento de los nutrientes naturales del suelo (se produce por que reduce los microorganismos en el suelo que fijan N), así como los posibles daños para la salud humana, animal y de los suelos (Martínez-Viera *et al.*, 2010; Vargas *et al.*, 1999).

Dentro de los productos contaminantes con mayor importancia se encuentran los fertilizantes nitrogenados ya que, al existir una pérdida de elementos primarios en el suelo por el manejo continuo de siembra y cosecha, se proporciona este nutriente al suelo para compensar la necesidad asimilatoria por las plantas. Sin embargo, es necesario analizar el suelo, ya que la sobresaturación de abono nitrogenado en un perfil de textura arenosa, cuyo riego es excesivo y presenta niveles freáticos superficiales, propicia que las sustancias se acumulen y causen un impacto negativo en el ecosistema circundante (Vargas *et al.*, 1999). Además, el nitrógeno en forma de nitrato es uno de los contaminantes orgánicos más comunes en el agua subterránea debido al uso excesivo de los fertilizantes, entre otros (Basulto *et al.*, 2014; Calleros *et al.*, 2018), y de los cuales surgen problemas en la salud humana que se abastece de esa fuente hídrica, por ejemplo la metahemoglobinemia, algunos tipos de cáncer gástrico, hepático, de colon, de pulmón, tiroideo, renal y el linfoma de Hodgking (Manassaram *et al.*; 2006; Catsburg *et al.*; 2013; Alcalde López *et al.*; 2017); además de casos de hipotiroidismo y efectos reproductivos adversos (Ward *et al.*; 2010). Lo que promueve la investigación de biomarcadores para detectar la exposición de nitratos en

niños, observando así si los cuerpos de agua de los que ellos ingieren, está contaminada con nitratos (Calleros *et al.*, 2018).

2.3.1. Efectos en el ambiente por el uso de fertilizantes

Uno de los problemas graves actuales son los efectos adversos de los fertilizantes en el medio ambiente. Aunque los agricultores han usado fertilizantes desde hace mucho tiempo, su uso prolongado ha afectado negativamente la fertilidad del suelo. La aplicación inadecuada de fertilizantes ha contaminado el agua, el aire y el suelo. Los minerales de los fertilizantes llegan a los cuerpos de agua debido a la escorrentía, la erosión del suelo y el enjuague, afectando también la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la acumulación de metales pesados en tierras agrícolas y la calidad de los alimentos. El exceso de nitrógeno en el suelo es particularmente problemático. Los fertilizantes nitrogenados, si no son absorbidos adecuadamente por las plantas, contaminan las aguas subterráneas y superficiales, causando eutrofización, que agota el oxígeno y degrada la calidad del agua, llevando a la muerte de comunidades acuáticas y problemas de olor. Los nitratos en el agua potable pueden causar problemas de salud como la metahemoglobinemia en recién nacidos (Ashitha *et al.*, 2021). Los fertilizantes acidificantes como el sulfato de amonio contaminan el suelo, y los óxidos de nitrógeno y el amoníaco contaminan el aire. Además del nitrógeno, otros minerales como fosfato, potasio, fósforo, calcio y magnesio también causan contaminación, aunque en menor medida. La textura del suelo, el pH y el contenido de arcilla determinan la absorción y destino de los fertilizantes. Los fertilizantes acidificantes aumentan el pH del suelo, deteriorando su estructura si se aplican a suelos ya ácidos. Para evitar problemas ambientales, se deben aplicar fertilizantes en pequeñas cantidades y con frecuencia, mantener la cobertura del suelo alrededor de presas y arroyos, y evitar su aplicación antes de fuertes lluvias ciclónicas (Ashitha *et al.*, 2021).

Los nitritos y nitratos ingeridos de aguas potables contaminadas pueden inducir metahemoglobinemia en humanos, particularmente en bebés pequeños, al bloquear la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina. Los nitritos y nitratos ingeridos también tienen un papel potencial en el desarrollo de cánceres del tracto digestivo a través de su contribución a la formación de nitrosaminas. Otros peligros indirectos para la salud también pueden provenir de la posible relación entre la contaminación por nitrógeno inorgánico y las enfermedades infecciosas humanas (malaria, cólera), enfermedades y muertes humanas, muertes masivas de animales acuáticos y otros efectos negativos. Se documentó en este estudio que los niveles de nitrógeno total inferiores a $0,5^{-1},0$ mg TN/L podrían evitar que los ecosistemas acuáticos (excluyendo aquellos ecosistemas con niveles naturalmente altos de N) desarrollen acidificación y eutrofización, al menos por la contaminación por nitrógeno inorgánico. Esos niveles relativamente bajos de NT también podrían proteger a los animales acuáticos contra la toxicidad de los

compuestos nitrogenados inorgánicos ya que, en ausencia de eutrofización, las aguas superficiales suelen presentar concentraciones relativamente altas de oxígeno disuelto, siendo la mayor parte del nitrógeno reactivo inorgánico en forma de nitrato. Además, la salud humana y la economía estarían más seguras de los efectos adversos de la contaminación por nitrógeno inorgánico (Camargo y Alonso, 2006).

2.4. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son inóculos de microorganismos que pueden vivir en asociación o en simbiosis con las plantas, ayudándoles a su nutrición y protección, siendo los más difundidos los que contienen hongos micorrícicos y bacterias (All *et al.*, 2009). Estudios recientes muestran que la fijación biológica del nitrógeno aporta más nitrógeno a la planta que los fertilizantes sintéticos. Aproximadamente 1.75×10^8 Mg N a⁻¹ se fijan de forma biológica, y esto equivale a un poco más de la producción mundial de los productos nitrogenados (8.9×10^7 Mg N a⁻¹), que a su vez resultan más costosos (Grageda *et al.*, 2012). Los biofertilizantes suelen ser más económicos que los fertilizantes sintéticos y su rendimiento es mucho mejor, por ejemplo, se llega a aportar más nitrógeno al sistema por la fijación biológica que por los aditivos sintéticos, 1.7×10^8 Mg N a⁻¹ contra 8.9×10^7 Mg N a⁻¹ esto es significativamente mayor en la producción mundial (FAO, 2008) además, los bio abonos no representan toxicidad en el suelo lo que ayuda a integrar la sustentabilidad del uso de las actividades agrícolas (Soria *et al.*, 2001).

2.4.1. Clasificación de los biofertilizantes

(a) Hongos

Las micorrizas son hongos que se están en asociación simbiótica entre el micelio del hongo y las raíces de las plantas y esta asociación es realizada por alrededor del 90% de las plantas terrestres (Smith y Read, 1997), así también presenta evidencia fósil de su interacción en el pasado (Simon *et al.*, 1993). Las micorrizas benefician a las plantas de diversas maneras, incluyendo el aumento del volumen de exploración de las raíces, una mejor captación de agua y nutrientes como fósforo, nitrógeno, potasio y calcio, una mayor tolerancia a los cambios de temperatura y acidez del suelo, protección contra ciertos patógenos, una mayor actividad de las raíces y una mejora en la estructura del suelo gracias al micelio y a la secreción de glomalinas (Alarcón y Ferrara, 2000). Por otro lado, el hongo del género *Trichoderma* es común en la rizosfera y ejerce varios efectos positivos en el desarrollo de las plantas, como la producción de reguladores de crecimiento, la solubilización y absorción de varios nutrientes, y su capacidad para antagonizar a ciertos hongos fitopatógenos de

interés agrícola. Por estas razones, las micorrizas tienen un gran potencial en el ámbito de la agricultura sostenible (Gravel *et al.*, 2007; Osman *et al.*, 2010).

(b) Bacterias

Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal abarcan una diversidad de bacterias presentes en el suelo que, al interactuar con las plantas, fomentan su crecimiento. Estas bacterias ofrecen varios mecanismos para la mejorar el estado nutricional de las plantas, como la fijación biológica de nitrógeno, la producción la producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias, el aumento de la disponibilidad de nutrientes en la zona de las raíces, la expansión del área superficial de la raíz y el control de microorganismos patógenos (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Entre estas bacterias, alrededor del 80% tienen la capacidad de producir auxinas, siendo el ácido 3-indol-acético (AIA) la auxina más relevante en términos cuantitativos (Bowen y Rovira, 1999). La producción de esta auxina estimula el sistema radicular y está asociada con una mayor absorción de nutrientes (Okon y Kapulnik, 1986). A pesar de las investigaciones intensivas sobre la fijación biológica de nitrógeno en plantas no leguminosas en la década de 1970, hay poca evidencia de que la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetativo, aunque se ahora se reconoce que el estímulo del crecimiento se debe se debe principalmente a otros mecanismos, como la producción de reguladores del crecimiento y sus efectos en la fisiología y morfología de la raíz (Bashan, 2008).

2.4.2. Lixiviado de lombriz y vermicompost

Entre los métodos alternativos de fertilización se encuentra la aplicación de abonos orgánicos como compost, estiércol y vermicompost. Estos abonos actúan como un depósito de nutrientes para las plantas, aunque su contenido nutricional puede variar significativamente según la especie animal, el tipo de residuo utilizado y el método de compostaje. Los abonos orgánicos son esenciales para la fertilidad del suelo, controlando las actividades en la rizósfera y regulando el crecimiento de las plantas. Las sustancias húmicas presentes en estos abonos mejoran considerablemente la calidad del suelo, lo que se refleja en un aumento de la biomasa radicular y del rendimiento de los cultivos. Por ello, es necesario evaluar el comportamiento agronómico de los cultivos frente a nuevos productos orgánicos, como el vermicompost y sus lixiviados. Estos productos podrían convertirse en opciones viables de fertilización orgánica o bioestimulación de cultivos, conservando el medio ambiente y siendo económicamente accesibles.

2.4.3. Impacto de los biofertilizantes sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo

El propósito de aplicar lixiviados al suelo es proporcionar nutrientes variados, divididos en macro y micronutrientes, que son esenciales para los procesos metabólicos de las plantas y contribuyen a su crecimiento y desarrollo. En el contexto específico de la nuez pecanera (*Carya illinoensis*), la aplicación de lixiviados en las hojas de los arbustos ayuda a nutrirlos y evitar la pérdida de frutos debido a la falta de nutrientes durante su desarrollo (Salas-Rivera *et al.*, 2018). Los microorganismos útiles para la producción de inoculantes y su aplicación en suelos agrícolas incluyen varios géneros como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* y *Streptomyces*. Estos microorganismos, presentes naturalmente en la rizósfera, facilitan la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, promoviendo así su crecimiento (Creus, 2017). Cuando los lixiviados se aplican al suelo, se convierten en un inoculante, una mezcla de lixiviado y los componentes del suelo que interactúan entre sí. Estos inoculantes, aplicados en cultivares mejorados de cacao en sistemas agroforestales tradicionales, han demostrado generar efectos significativos en algunos indicadores de crecimiento de las plantas (Hipólito-Romero *et al.*, 2017). La elaboración de abonos líquidos orgánicos puede involucrar diferentes sustratos, como el producido con heces de alpaca, que tiene bajos niveles de metales pesados y no contiene bacterias coliformes ni *E. coli*, lo que lo convierte en un producto favorable para los agroecosistemas (Quiñonez *et al.*, 2016). Las lombrices de tierra benefician los suelos al crear poros que mejoran la biomasa microbiana, la actividad enzimática y la disponibilidad de nutrientes (Athmann *et al.*, 2017). Al ingerir materia orgánica como estiércol de cerdo, vaca y caballo, las lombrices provocan cambios beneficiosos en la modificación de nutrientes y comunidades microbianas que se liberan al sustrato, mejorando la actividad microbiana (Aira *et al.*, 2016). Además, se ha observado que las fracciones más pequeñas del suelo mejoran la nutrición de las lombrices y promueven una mejor mineralización del carbono (Abail *et al.*, 2017).

2.4.4. Perspectiva del uso de biofertilizantes en México

En México se han realizado investigaciones respecto a los biofertilizantes, que incluso han llegado a identificar esporas de micorrizas en biofertilizantes (Reyes *et al.*, 2020), sin embargo, como menciona Grageda y colaboradores (2012) no ha habido una transferencia de estos conocimientos a los productores de México, ya que muchos desconocen de los beneficios de los biofertilizantes, por lo que se requiere que se vincule la industria con los científicos para generar en conjunto mejores producciones que resulten en un bien para todos .

2.5. Generalidades del Nogal

El nogal (*Carya illinoensis*) es conocido comúnmente como nogal pecanero, este es de la familia Jugandáceas, y tiene su origen en el Sur de los Estados Unidos en el que se encuentran más de 100 variedades, la cuales tienen una distribución específicamente Texas, Arkansas y Luisiana, además esta especie se puede encontrar en el norte de México. Ya que se encuentra adaptado a las condiciones climáticas de su lugar de origen, el cultivo puede llegar a producir más de 200,000 toneladas de nuez a nivel mundial. Las características generales destacan que son árboles que pueden alcanzar generalmente 20 a 30 metros de alto, tiene hojas compuestas de 7 a 11 folíolos, con un arreglo en las flores en los individuos machos es de forma de cola de gato, y en las hembras es de panículas. Las generalidades del fruto son de forma alargada de alrededor de 4 a 8 centímetros de largo por 2 centímetros de ancho, la nuez es de textura liza y puntiaguda al final y de un color marrón rojizo. La almendra se divide en dos lóbulos y cada uno presenta tres surcos (Geilfus, 1994). Los factores abióticos que se ven acompañados de esta especie son, un clima subtropical con temperaturas promedio anuales no mayores a los 22°C, en zonas tropicales solo se ve beneficiado en alturas de 1000 metros mientras que en zonas subtropicales es a los 200 metros. Estas plantas requieren un clima subhúmedo con precipitaciones anuales no superiores a 1,200 mm y una estación seca bien definida, ya que el exceso de humedad favorece las enfermedades. Necesitan suelos profundos, frescos y bien drenados. Para su formación, el nogal pecanero necesita poca poda y un entorno libre de hierbas. Requiere riego durante las sequías, especialmente al inicio de la floración y la formación de frutos. Responde bien al abono orgánico; se recomienda añadir anualmente 1 kilo de nitrato de amonio, 30 gramos de superfosfato y 30 gramos de sulfato de potasio por árbol. Además, puede requerir zinc. Los nogales deben protegerse de diversas plagas: los árboles jóvenes pueden ser atacados por comejenes, y barrenadores pueden afectar troncos y brotes. La enfermedad más grave es la pudrición de hojas, ramillas y frutos causada por el hongo *Cladosporium effusum*, por lo que es necesario tratar las plantaciones con fungicidas a base de cobre (caldo bordelés) si hay altos niveles de humedad (Geilfus, 1994).

Estados Unidos y México lideran la producción mundial de nuez pecanera, contribuyendo juntamente con el 93%. Estados Unidos aporta el 55%, mientras que México contribuye con el 38%. Otros países como Sudáfrica, Australia y algunos más contribuyen con el resto de la producción (International Nut&DriedFruit, 2014). La nuez pecanera es una actividad comercial destacada en el este de Estados Unidos, cultivada en todo el sur de este país. Los cinco principales estados productores son Georgia, Texas, Nuevo México y Arizona, con Luisiana y Oklahoma empatando en el quinto lugar (USDA-NASS, 2011). El consumo per cápita de nuez pecanera en México es de aproximadamente 0.65 kg, según datos de Baca (2007), mientras que en Estados Unidos en 2007 fue de alrededor de 0.752 kg. La mayor parte de la nuez pecanera se comercializa sin cáscara, es decir, en almendra, que representa alrededor del 50% del peso total de la nuez. En los países desarrollados, los consumidores valoran principalmente la calidad, que se evalúa por el color y tamaño de la semilla, prefiriendo las semillas grandes y de color uniforme, sin daños por insectos o hongos. Las almendras se envasan al vacío o en atmósfera de nitrógeno y pueden

refrigerarse por períodos prolongados (hasta 12 meses) (FIRA, 2002). Hasta el año 2020, la superficie nacional destinada al cultivo de nuez se mantuvo en 108,771 hectáreas cosechadas. Entre 2014 y 2020, se observó un aumento en la superficie sembrada, impulsado principalmente por el mercado internacional, ya que alrededor del 80% de la producción nacional se exporta, principalmente a Estados Unidos y China. La nuez es el cultivo frutal de mayor crecimiento en Sonora, donde el volumen de producción creció de 7,867 toneladas en 2012 a 24,053 toneladas en 2020, con un valor de producción de \$2,036,858 (Retes *et al.*, 2021).

2.6. Parámetros de evaluación para la microbiología del suelo

2.6.1. Técnica de respiración inducida por sustrato

Dentro del ciclo biológico en el que los nutrientes regresan al suelo, permite entender que comienza una labor por la degradación de la materia orgánica del suelo en la que participan microorganismos heterotróficos que según la velocidad de descomposición indica el nivel de actividad microbiana en el suelo. Por lo que existen técnicas como la de actividad microbiana o respiración basal que miden la descomposición o mineralización de la degradación de la materia orgánica del suelo según el consumo de oxígeno o el desprendimiento de dióxido de carbono que liberen las muestras de suelo en el laboratorio bajo en condiciones controladas (Alef, 1995; Pell *et al.*, 2006). Anderson y Domsch (1978) fueron los que desarrollaron el método de respiración inducida por sustrato. Este consiste en añadir glucosa en exceso al suelo, lo que limita la cantidad de microorganismos aerobios activos en el suelo, esto bajo condiciones controladas en el laboratorio. De esta manera se observa que las poblaciones microbianas en el suelo durante las primeras horas de añadida la glucosa no tienen un aumento significativo de la población, por lo que la respiración resulta ser directamente proporcional a la cantidad de biomasa microbiana del suelo. De esta manera RIS Respiración inducida por sustrato, estima la cantidad de carbono retenida en vivo (Prazeres *et al.* 2010).

2.6.1. Parámetros microbiológicos

La biomasa microbiana (C_{mic}) es un parámetro microbiológico muy importante que también se analiza junto con la respiración basal y este cuantifica la cantidad global de materia viva o microorganismos presentes en un suelo (Jenkinson y Ladd, 1981). Mientras que el cociente metabólico qCO_2 es la cantidad de C-CO₂ respirado por unidad de C_{mic} y unidad de tiempo, y los valores bajos de esta unidad representa una mejor eficiencia de la actividad microbiana en el suelo lo que indica que será menor la cantidad de C perdida por la vía de respiración (Insam, 1990;

y Sánchez et al 2005). De la misma manera Anderson (1994), señala que el cociente metabólico qCO_2 es un índice metabólico que se utiliza para conocer la eficiencia de los microorganismos en el uso de la energía: por ejemplo, en el mantenimiento y crecimiento de estos en el ecosistema. Además, menciona que este se usa cuando se quiere comparar el impacto de cambios estacionales, adición de metales, sistemas de manejo, xenobióticos y agroquímicos sobre el microbiota del suelo. Y también, menciona que el qCO_2 puede variar según la disponibilidad de sustratos, composición y estado fisiológico de la comunidad microbiana, pH, textura y carbono orgánico disponible para los microorganismos.

Capítulo 3. Metodología

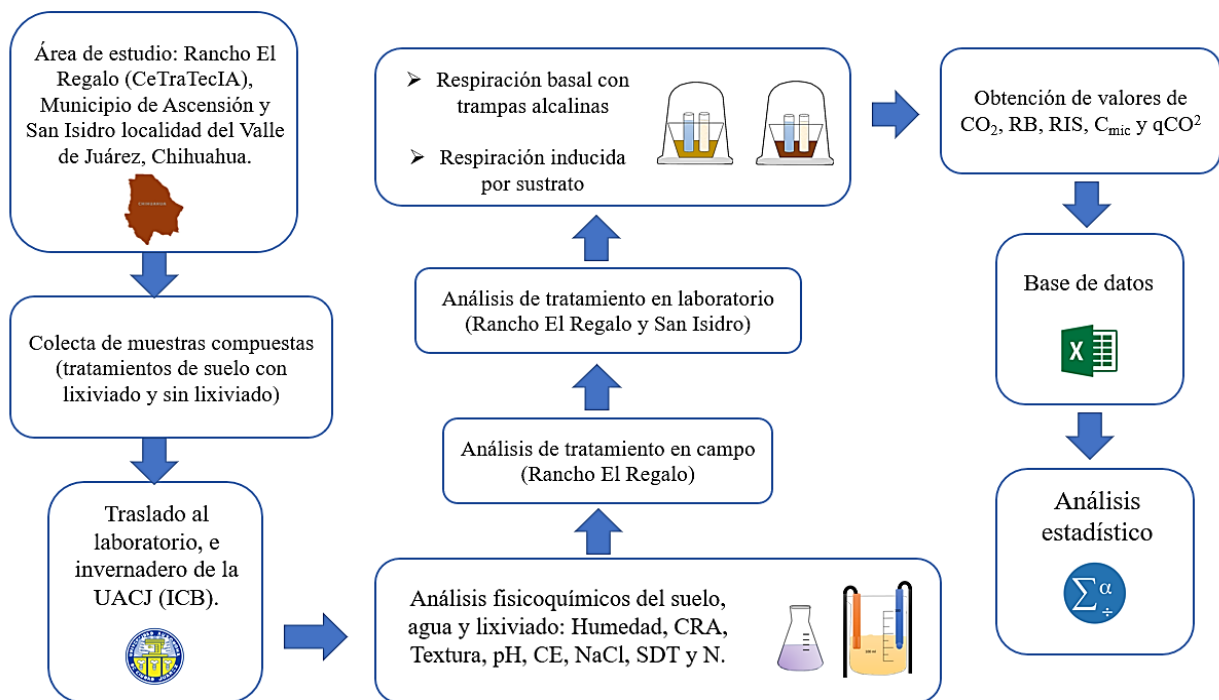


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología general.

3.1. Muestreo. Obtención de muestras del Rancho El Regalo y de San Isidro localidada del Valle de Juárez, Chihuahua

El trabajo de campo se realizó en las instalaciones de Centro de Inteligencia Artificial (CeTraTecIA) localizadas en el Rancho El Regalo en el Municipio de Ascensión Chihuahua México. Este lugar tiene cuatro hectáreas destinadas al cultivo de nogal, con un aproximado de 100 individuos por hectárea, los cuales, tienen un riego controlado por 4 válvulas (una válvula para cada 1.25 hectárea) que dirigen el agua a cada uno de los árboles realizando finalmente un riego por microaspersión. La humedad y requerimientos de agua de los nogales se registró por sensores (Draggino) colocados con profundidades de 30 cm y 50 cm. Además, los nogales fueron tratados durante un año con lixiviados de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) suministrado en el sistema de riego el cual se realizó por microaspersión a su máxima capacidad de campo cada tres o cuatro días según lo requerido por el cultivo (método de Thornthwhite y con la ecuación de Hagreaves-Samani para medir la ETP a través de instrumentos de medición de presión hidrostática

y temperatura de suelo con sensores de la marca Multideph); además, el tratamiento se complementó con la adición de 20 kilogramos de vermicomposta que se colocaron por árbol cada tres meses.

El segundo lugar de muestreo fue en la localidad de San Isidro, Valle de Juárez, Chihuahua, el cual cuenta con un área de siembra en la que se encuentran nogales de 45 años con suelo que ha sido irrigado una vez al mes con agua tratada de la Planta de Tratamiento Aguas Residuales Sur Sur que está a unos 644 metros de distancia. El área muestreada es de 31,388.13 m² con aproximadamente 280 nogales, de 500 que tiene el área completa del cultivo, los cuales pueden llegar a producir de 15 a 18 toneladas de nuez pecana.

3.1.1. Obtención de muestras

Para el Rancho El Regalo se realizaron dos muestreos, uno en el mes de agosto y el otro en el mes de diciembre del año 2022, esto para abarcar la etapa activa y de dormancia del cultivo. De una población de 345 árboles de nogal de 3 años de madurez, el muestreo fue en “zig-zag” como propone Mendoza y Espinoza (2017) recomendado para cultivos, seleccionando 10 árboles, de 3 a 4 por bloque (1 ha). Después, al identificar el nogal (**Figura 4**), con la ayuda de una pala se prosiguió a tomar muestras compuestas de suelo expuesto a lixiviados y suelo no expuesto a lixiviados, el cual, consistió en seleccionar tres puntos dentro del área de exposición (aproximadamente a 45 centímetros distancia del nogal) y tres puntos fuera del área de exposición (aproximadamente 2.5 metros de distancia del nogal) tal y como se muestra en la (**Figura 5**). La profundidad de las muestras fue de 30 cm. En seguida, para formar la muestra compuesta se colocó el suelo de los tres puntos con exposición al lixiviado y se mezclaron sobre una bolsa de plástico para posteriormente dividirla en 4 partes escogiendo los dos extremos opuestos y desechando los restantes. De igual manera se realizaron las muestras compuestas del grupo control. Cada muestra se colectó en bolsas de plástico debidamente etiquetadas de 1 a 2 kilogramos aproximadamente y se procuró mantenerlas en frío para su traslado.

En Valle de Juárez se realizó un muestreo en el mes de noviembre del 2022, el cual consistió en seleccionar 5 árboles de nogal al azar en zig-zag, los cuales tenían 45 años (**Figura 6**). Posteriormente se extrajo suelo de tres puntos alrededor del árbol de forma equidistante y a 2.5 metros de distancia del árbol; estas, se mezclaron sobre una bolsa extendida y se dividió en cuatro partes, seleccionando dos extremos opuestos y se descartó el resto. Cada muestra fue de aproximadamente de 1 a 2 kilos, se etiquetaron y se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis.

Después, las muestras se llevaron al laboratorio de ciencias ambientales del Instituto de Ciencias Biomédicas, ahí se dividieron a la mitad, una de ellas se llevó al invernadero, donde se extendieron

con un grosor aproximado de 2.5 cm sobre mesas metálicas con base de sprint, en el que se puso anticipadamente papel canela para sostener el suelo. Así, al secarse se retiraron piedras y ramas para poder meter la muestra a un molino con tamiz de 2mm, al termino se trasladaron al laboratorio. La otra mitad de las muestras se mantuvieron en el cuarto frio para conservar sus propiedades microbiológicas y posteriormente se prosiguió a tamizarlas con una malla de 2.2 milímetros, sin secarse al ambiente.

El lixiviado de lombriz roja californiana que se elabora en el Rancho El Regalo, se trasladó al laboratorio un galón de dicho lixiviado para su análisis.

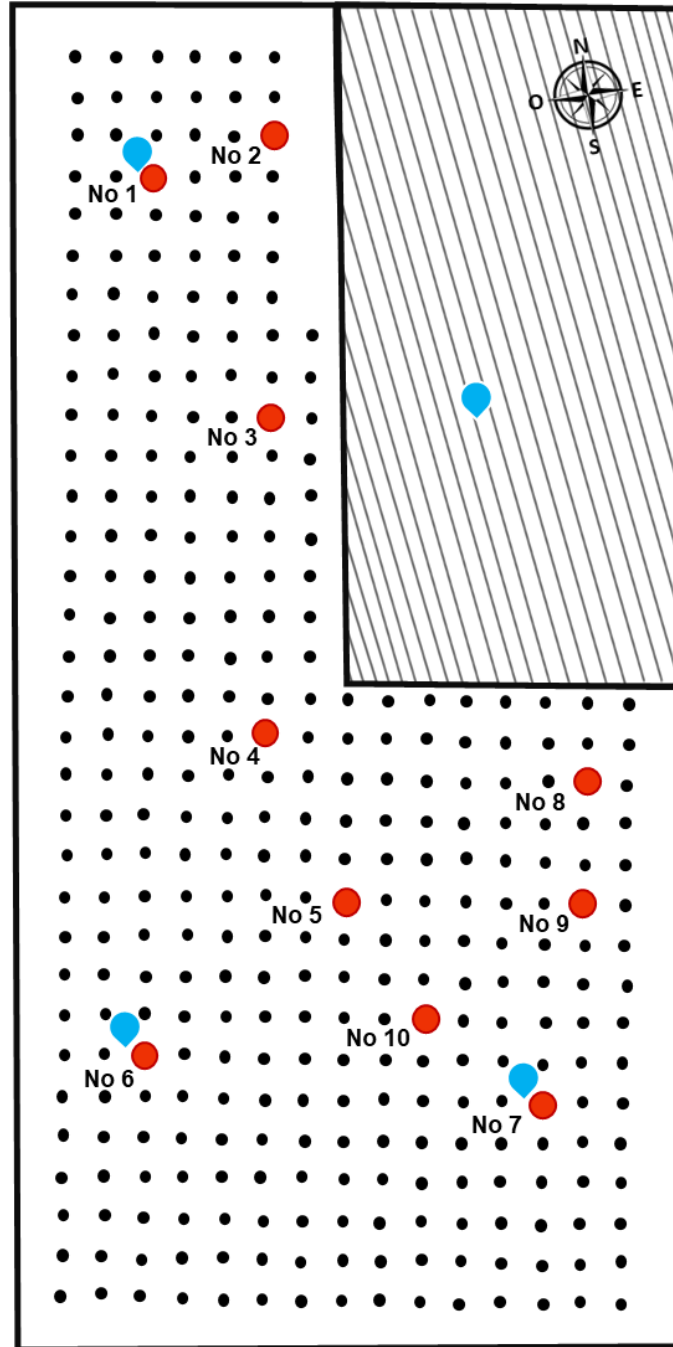


Figura 4. Zona de experimentación (Rancho El Regalo) los puntos negros son los árboles de nogal, los puntos rojos son los lugares de muestreo y los puntos azules señalan el posicionamiento de los sensores en el cultivo.

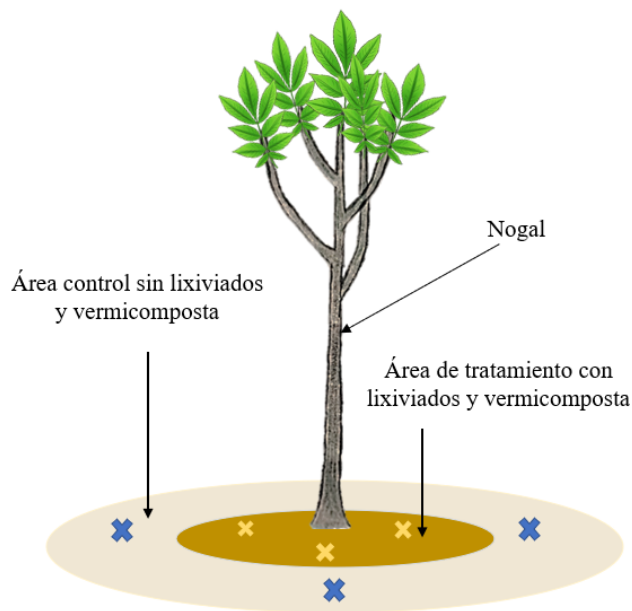


Figura 5. En esta imagen se muestra la forma en la que se colectaron los tres puntos para el tratamiento con lixiviados y los tres del control alrededor del árbol de nogal, con distancias de 45 cm y 2.50 m respectivamente.

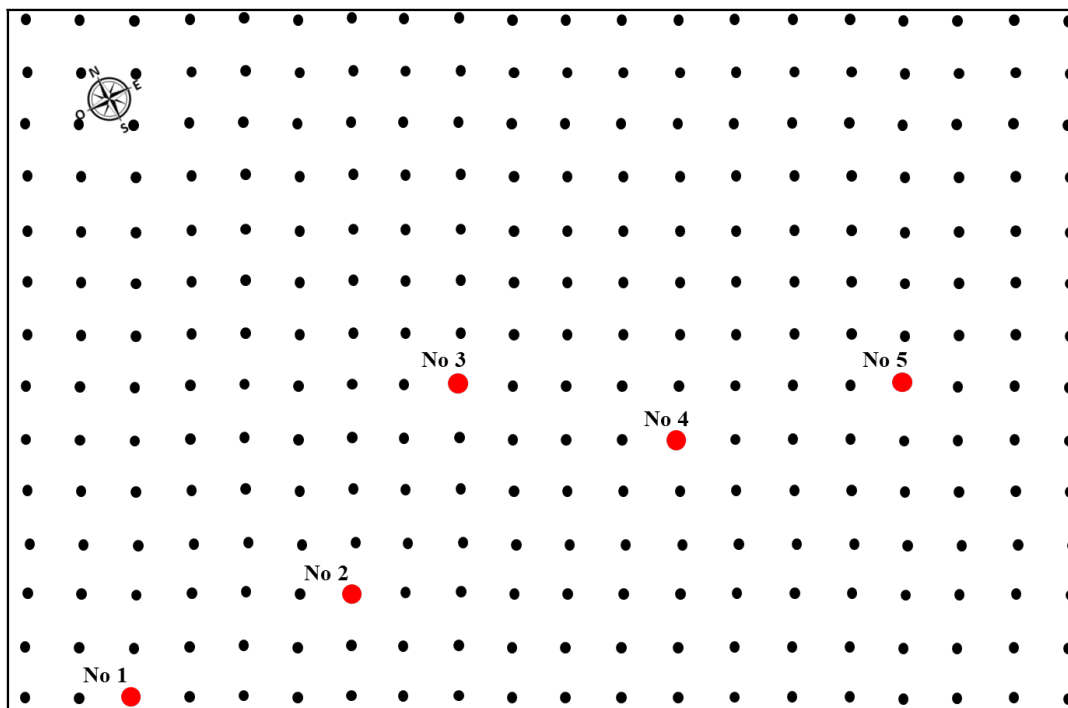


Figura 6. Zona de experimentación (San Isidro, Valle de Juárez) los puntos negros son los árboles de nogal y los puntos rojos son los lugares de muestreo.

3.2. Análisis fisicoquímico general de suelo, agua y lixiviados del Rancho El Regalo y Valle de Juárez.

3.2.1. Caracterización fisicoquímica del suelo

(1) Análisis de humedad

El porcentaje de humedad del suelo se determinó justo después de instalar las muestras en el laboratorio, de esta manera se pesaron en una balanza analítica 20 gramos de suelo por cada muestra y se colocaron en charolas pequeñas de aluminio, previamente pesadas y etiquetadas. Después, se metieron en una estufa marca PRECISION SCIENTIFIC CO. PS MODEL 15 que llegó a una temperatura de 105°C a 110°C por 72 horas. Pasado el tiempo se apagó la estufa y se dejó enfriar por una o dos horas, enseguida se pesaron nuevamente las muestras y se registraron los datos, restando el valor de la charola y los valores obtenidos se usaron en la **Ecuación 1** para sacar el porcentaje de humedad de las muestras.

$$\% H_2O = \frac{\text{Peso de suelo humedo (g)} - \text{Peso de suelo seco (g)}}{\text{Peso de suelo seco (g)}} \times 100$$

Eq. 1

(2) Capacidad de retención de agua (CRA)

El procedimiento para obtener la capacidad de retención de agua CRA estimada por cada muestra, fue el siguiente: La muestra de suelo se homogenizó y de diferentes puntos se tomó para pesar 50 gramos. Enseguida se vertió el suelo sobre filtros de café dentro de un embudo que se posicionaba sobre una probeta de 100 mililitros. Posteriormente se midieron en otra probeta 50 mililitros de agua destilada y se agregaron al suelo; se registraron los valores una vez dejó de gotear la muestra. También, se contempló el peso del filtro y lo que lograba retener de agua por sí solo, lo que se sumó al volumen final. Con los datos se prosiguió a realizar los cálculos para sacar la capacidad de retención de agua y por ende el porcentaje del mismo con las siguientes ecuaciones (**Ecuación 2** y **Ecuación 3**).

$$CRA = \text{volumen inicial} - \text{volumen final}$$

Eq. 2

$$\%CRA = \frac{\text{Mililitros colectados}}{\text{Mililitros totales}} \times 100$$

Eq. 3

(3) Determinación de textura por el procedimiento de Bouyoucos, método AS-09

Para el procedimiento de Bouyoucos se preparó 1 litro de hexametaphosphato con agua destilada, después se pesaron 50 gramos de suelo, marcando en el contenedor los datos de la muestra, en total 4 muestras. Se colocaron los 50 gramos de suelo en un contenedor de plástico de un litro y se agregaron a él 150 mililitros de agua con la ayuda de una probeta y 30 mililitros de hexametaphosphato, se agitó manualmente y se dejó reposar por 15 minutos, pasado el tiempo se colocó una licuadora en el contenedor, que agitó la muestra por otros 15 minutos más, mientras tanto se colocó el agua y hexametaphosphato a la siguiente muestra. Terminado los 15 minutos en la licuadora, se retiró la mezcla y se colocó en una probeta de 1000 mililitros y con la ayuda de una piseta se procuró que callera toda la muestra. Después, se llenó la probeta con agua destilada hasta los 900 mililitros, en seguida se introdujo un densímetro y con él adentro se llenó la probeta hasta los 1000 mililitros de agua, se retiró el densímetro y se agitó vigorosamente con la ayuda de un agitador metálico, e inmediatamente de agitado se saca el agitador y se introduce el densímetro y se prosigue a contar 40 segundos para registrar el valor que se muestra justo en el borde del agua. Por último, se introdujo un termómetro digital y se deja reposar la muestra por dos horas, pasado el tiempo, se introduce nuevamente el densímetro y el termómetro para hacer la segunda lectura, pero en este caso no se agitó la muestra. Los 40 segundos esperados en la primera lectura permitió la separación de partículas mayores de 0.05 milímetros como la arena y en la segunda lectura que duró 2 horas se separaron partículas de diámetro mayores a 0.2 milímetros como el limo y la arena, los cuales son los límites establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se usan para construir el triángulo de texturas.

Para la obtención de resultados los cálculos se corrigieron con las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5 °C restando la misma cantidad por cada grado abajo de dicha temperatura como se muestra en la **Tabla 1**. Después de obtener los valores correctos se obtiene los porcentajes de arena (**Ecuación 4**), porcentaje de arcilla (**Ecuación 5**) y porcentaje de limo (**Ecuación 6**).

$$\% \text{ Arena} = 100 - (\text{temperatura ajustada de la lectura} \times 2)$$

Eq. 4

$$\% \text{ Arcilla} = \text{tempera ajustada de la lectura } 2 * 2$$

Eq. 5

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ de arena} + \% \text{ de arcilla})$$

Eq. 6

La lectura a los 40 segundos multiplicada por 2 es igual al porcentaje de arcilla más limo. Restando 100 se obtiene el porcentaje de arena. La lectura obtenida a 2 horas multiplicadas por 2 es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtendrá por diferencia, y los porcentajes obtenidos se buscarán en el triángulo de texturas uniendo los tres valores en un solo punto (**Figura 7**).

Tabla 1. Corrección de temperatura establecido en la NOM-021-RECNAT-2000

Temperatura °C	Corrección	Temperatura °C	Corrección
15.0	-1.62	21.5	+0.18
15.5	-1.44	22.0	+0.90
16.0	-1.26	22.5	+1.08
16.5	-1.08	23.0	+1.26
17.0	-0.90	23.5	+1.44
17.5	-0.72	24.0	+1.62
18.0	-0.54	24.5	+1.80
18.5	-0.36	25.0	+1.98
19.0	-0.18	25.5	+2.15
19.5	-0	26.0	+2.34
20.0	+0.18	26.5	+2.52
20.5	+0.36	27.0	+2.70
21.0	+0.54	27.5	+2.85
		28.0	+3.06

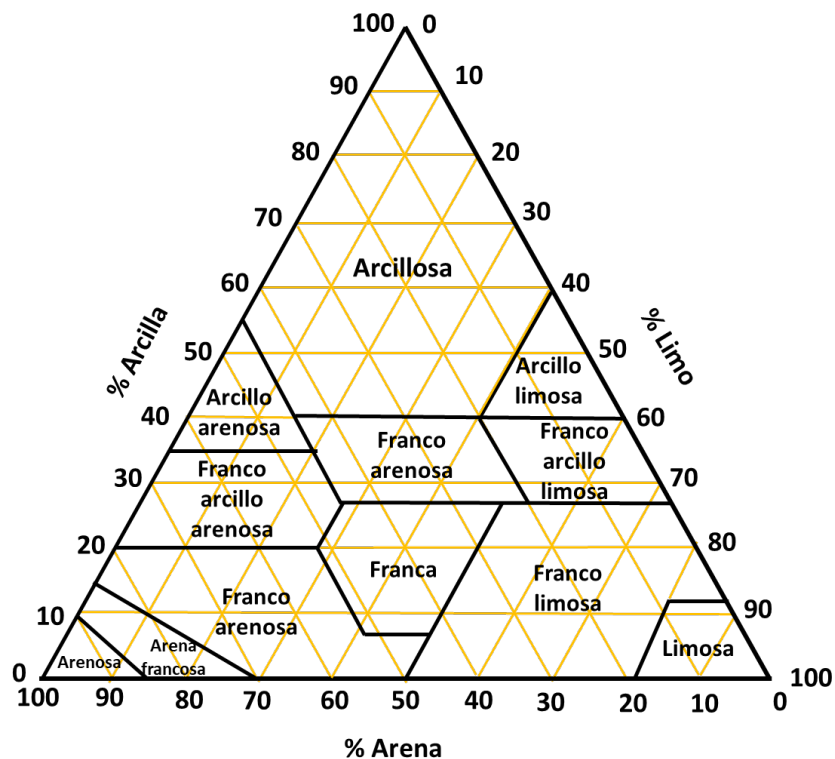


Figura 7. Triángulo de texturas modificada de Fuente: U.S.D.A., 1977.

(4) Análisis de pH (Jackson 1964)

El método para la medición del pH del suelo se realizó pesando 10 gramos de cada muestra seca, previamente revuelta y seleccionando varios puntos de esta. Esta cantidad se colocó en contenedores de plástico de 100 ml, y posteriormente se agregó 20 ml de agua destilada, para obtener una relación 1:2. El agua destilada se analizó con el potenciómetro para asegurarse que fuera agua destilada. Listos los botes, se agitaron con un agitador eléctrico marca EBERBACH Modelo No. 6010 a velocidad lenta con un intervalo de tiempo de 1 a 3 minutos de agitación y 10 minutos de reposo y esto se hizo por dos veces. Enseguida, con la ayuda del potenciómetro marca HANNA instruments HI120 & HI 122 (pH/ mV/ Temperature) ya calibrado con soluciones patrón (pH 4.00, 7.00 y 10.00) se midió el pH agitando la muestra manualmente e introduciendo el electrodo para registrar el valor después de la estabilización del aparato, tomando un tiempo aproximado de 1 minuto para cada muestra, y al terminar el primer registro de datos se repetía introduciendo el electrodo 30 minutos después aproximadamente. Este procedimiento se realizó por duplicado, y finalmente de las dos lecturas de cada duplicado se sacó una media y el valor resultante se clasificó según la NOM-021-RECNAT-2000 (**Tabla 2**).

Tabla 2. Clasificación del pH en suelos tomada de la NOM-021-RECNAT-2000

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

(5) Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y solidos disueltos totales (SDT) por el método de Jackson (1964).

El análisis de conductividad eléctrica prosiguió del análisis de pH, ya que el método requiere de 10 gramos de suelo y un volumen de agua destilada de 50 mililitros, por lo que solo se agregó 30 mililitros a los botes de cada muestra. Después, se agitaron en el agitador en velocidad lenta por 15 minutos y 10 min de reposo, esto dos veces. Agitadas las muestras se colocaron sobre una mesa y se dejaron reposar por 24 horas. Para la medición de la conductividad eléctrica se usó el conductímetro HANNA instruments HI 2300 (EC/TDS/NaCl Meter) introduciendo la celda en el líquido sobrenadante tocando levemente el sedimento. La celda se enjuagó 3 veces y se secó con papel canela antes de cada registro y se esperó nuevamente 1 minuto. Finalmente se obtuvieron los valores por duplicado, se hizo una media de los datos por muestra y se multiplicó por 5 y se dividió entre 1000 para convertir el registro de μS a dS y poder comparar los resultados con lo estipulado por la NOM-021-RECNAT-2000 (**Tabla 3**). Los datos de %NaCl, ppm y TDS se obtenían automáticamente después de registrar el dato de conductividad.

Tabla 3. Valores de salinidad en suelo, tomada de la NOM-021-RECNAT-2000

CE dS m⁻¹ a 25°C	Efectos
<1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1-2.0	Muy ligeramente salino
2.1-4.0	Moderadamente salino
4.1-8.0	Suelo salino
8.1-16.0	Fuertemente salino
>16.0	Muy fuertemente salino

(6) Análisis de nitrógeno inorgánico en el suelo

El nitrógeno inorgánico en el suelo se obtuvo de tomar 5 gramos de cada muestra las cuales se colocaron en contenedores herméticos de 100 ml a los que se les agregó 50 mililitros de KCl (Cloruro de potasio). Posteriormente se llevaron los frascos a agitación continua por una hora, terminado el tiempo, se vaciaron sobre embudos con un filtro Whatman No 42 de 110 mm. El líquido filtrado caía a nuevos contenedores de 50 ml, de ese líquido se tomó 5 mililitros y se llevó al aforo de 50 ml con agua destilada, esto con la ayuda de un matraz aforado. Estando de igual manera todas las muestras listas, pasaron a verterse en los cilindros del aparato SEAL Analytical para la Prueba colorimétrica con fotómetro de ultravioleta. Este aparato analiza una muestra estándar o un blanco, y después analiza cada una de las muestras automáticamente, arrojando en la computadora los valores de Nitrógeno encontrados en la muestra. Arroja datos del mg N/kg suelo, N-NO₃ mg/kg suelo, N-NH₄ mg/kg suelo. La suma del Nitrógeno del nitrato más el nitrógeno del amonio dan como resultado el nitrógeno total del suelo estimado en la muestra (**Tabla 4**).

Tabla 4. Valores de Nitrógeno inorgánico, tomada de la NOM-021-RECNAT-2000

Clase	N inorgánico en el suelo mg Kg⁻¹
Muy bajo	0 - 10
Bajo	0 - 20
Medio	20 - 40
Alto	40 - 60
Muy alto	>60

3.2.2. Caracterización fisicoquímica del agua

La toma de muestra del agua de pozo de la que se riega el huerto se realizó directamente del grifo o llave de salida, solo se aseguró de que esté limpio y se colectará el agua en un bote de plástico de un litro esterilizado, el cual se trasladó directamente al laboratorio y se refrigeró para su posterior análisis.

(1) Análisis de pH

El método electrométrico para la determinación del pH se realizó introduciendo el potenciómetro dentro de aproximadamente 100 mililitros de agua, introduciendo el electrodo y enjuagando con agua destilada después de cada lectura. Las lecturas se registraron pasado un minuto, después que el potenciómetro se estabilizará.

(2) Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y sólidos disueltos totales (SDT)

La salinidad del agua se calculó por medio de la conductividad eléctrica con un conductímetro HANNA instruments HI 2300 (EC/TDS/NaCl Meter) en el laboratorio. Se trasladaron desde el área de estudio al laboratorio 2 litros de agua de la fuente que abastece al cultivo. Una vez en el laboratorio, se agitó y se colocaron 100 mililitros del agua en un vaso de precipitado para analizarlo con el conductímetro. Se realizaron, tres lecturas enjuagando el sensor con agua destilada antes de hacer la lectura, demás se esperó 1 minuto para el registro del dato.

3.2.3. Caracterización del lixiviado de lombriz californiana

Se colectó lixiviado de la producción del Rancho El Regalo y se trasladó al laboratorio de ciencias experimentales el cual se mantuvo en refrigeración hasta su análisis.

(1) Análisis de pH.

Se colectó lixiviado de la producción del Rancho El Regalo y se trasladó al laboratorio de ciencias experimentales el cual se mantuvo en refrigeración hasta su análisis. Para medir el pH del lixiviado se agitó el contenedor y se colectó tres muestras de 250 ml las cuales se llevaron tal cual para su análisis. Se introdujo el pechímetro y pasado un minuto se registró el dato dado por el aparato, las lecturas se realizaron por triplicado y se realizaron medias de los datos para dar el resultado general.

(1) Análisis de conductividad eléctrica (CE), Porcentaje de Cloruro de sodio (%NaCl) y sólidos disueltos totales (SDT)

El análisis de salinidad, así como el % de NaCl, ppm y TDS, se midieron en el mismo equipo HANNA instruments HI 2300 (EC/TDS/NaCl Meter) para lo cual se obtuvo tres muestras de lixiviado, las cuales se midieron en el potenciómetro y se registraron los datos al pasar un minuto. Se realizaron lecturas por triplicado y se sacaron medias para el dato final.

(2) Análisis de nitrógeno.

Para determinar el nitrógeno inorgánico en el lixiviado, se agito el contenedor que se mantenía en el cuarto frío y se extrajo 1 litro de lixiviado. En tres contenedores herméticos de 100 mililitros, en cada uno se colocaron 50 mililitros de lixiviado, después se filtraron con filtro Whatman No 42 de 110 mm. Del líquido colectado se tomaron 5 mililitros y se llevó al aforo de 50 ml con agua destilada, esto con la ayuda de un matraz aforado. Estando de igual manera todas las muestras listas, pasaron a verterse en los cilindros del aparato SEAL Analytical AA3 para la Prueba colorimétrica con fotómetro de ultravioleta. Este aparato analiza una muestra estándar o un blanco, y después analiza cada una de las muestras automáticamente, arrojando en la computadora los valores de Nitrógeno encontrados en la muestra. Arroja datos del mg N/kg suelo, N-NO₃ mg/kg suelo, N - NH₄ mg/kg suelo. La suma del Nitrógeno del nitrato más el nitrógeno del amonio dan como resultado el nitrógeno total del suelo estimado en la muestra.

3.2.4. Cuidados del cultivo durante el experimento

Las prácticas de manejo de los experimentos fueron los tradicionales en cada cultivo (barbecho, surcado, deshierbes etc.) complementadas con algunas específicas para el control de plagas y enfermedades, además de un protector biológico activo (Innovack) que se aplica al riego para proteger la raíz y guardar la humedad en el suelo.

3.3. Determinación de actividad microbiana.

El suelo que se usó para la determinación de actividad microbiana fue separado en cuanto llegó al laboratorio, este no fue secado en el invernadero, sino que se mantuvo en el cuarto frío hasta el día del análisis microbiológico.

3.3.1. Actividad microbiana para muestras en campo, del Rancho El Regalo.

Para el análisis de actividad microbiana se realizó un procedimiento de observación de respiración basal, el cuál consistió en pesar 25 gramos de suelo húmedo previamente tamizado y homogenizado. Se colocaron en contenedores de plástico transparentes. Una vez listo el suelo se prosiguió a realizar el ajuste de humedad al 40% agregando agua destilada a las muestras se homogenizó con la ayuda de una espátula. Después, se prepararon dos viales que contenían uno

10 mililitros de NaOH a 0.3 N y el otro, 10 mililitros de agua destilada. Los viales se acomodaron dentro del suelo y posteriormente se cubrieron con un bote de plástico con tapa de 1 litro de capacidad. El grupo control del tratamiento fue sin suelo, solo se introdujo una bolsa de plástico transparente enrollada para darle soporte a los viales (**Figura 8**). En seguida, los botes se pasaron a cajas de plástico en las cuales se vertió agua hasta cubrir por completo la orilla de las tapas y así evitar la entrada de aire al contenedor y equilibrar la presión atmosférica del interior del contenedor. Una vez listas las muestras, se taparon las cajas con su propia tapadera y además se les colocó una tela que impidiera la entrada de luz. La incubación duró por 7 días en oscuridad con una temperatura de 22°C a 25°C, registrado con termómetro en el área experimental. Pasado el tiempo se retiraron los viales de los vasos, y los que contenían NaOH se trasladaban para prepararse para titulación.

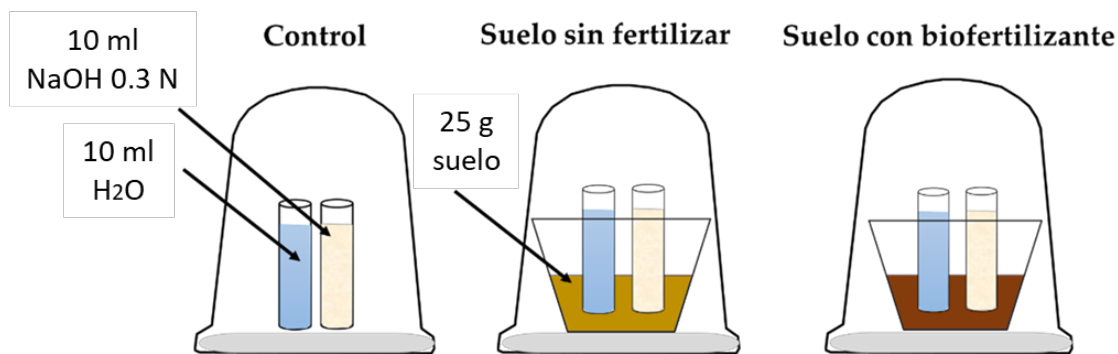


Figura 8. Forma de incubación de las muestras de suelo y posición de las trampas alcalinas (NaOH); el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo contenedor tiene suelo no expuesto a lixiviado y vermicompost y finalmente el último contenedor tiene suelo expuesto a lixiviado y vermicompost.

En matraces Erlenmeyer de aproximadamente 250 mililitros se agregaron 2 mililitros de Cloruro de bario (BaCl_2) al 0.5 M, después, se vertió cada alícuota de NaOH al matraz correspondiente y se agregó 1 gota de fenolftaleína al 1 %. Después, de homogenizar la mezcla, se prosiguió a realizar la titulación de Wared para trampas alcalinas, por lo que se preparó una bureta automática marca burkle con ácido clorhídrico (HCl) 0.3 N, agregando gota a gota el ácido hasta el viraje de color (**Figura 9**). Se registró el volumen gastado de HCl para cada una de las muestras, y con los datos obtenidos se usó la (**Ecuación 7**) para determinar la cantidad de CO_2 (Dióxido de carbono) expidió cada muestra durante 7 días; para obtener la respiración basal (RB) se usó la (**Ecuación 8**) (Paulini, 2017):



Figura 9. Titulación de trampas alcalinas con hidróxido de sodio (NaOH) a la solución de cloruro de bario (BaCl_2) más la adición de un indicador (fenolftaleína) y la posterior titulación con ácido clorhídrico (HCl) para la evaluación de CO_2 y respiración basal.

$$mg \text{ CO}_2 = (VB - VM) \times 22 \times NHCl$$

Eq. 7

$$mg \text{ C} - \text{CO}_2 = (VB - VM) \times 6 \times NHCl$$

Eq. 8

3.3.2. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en campo Rancho El Regalo.

Para realizar este procedimiento se continuó con las muestras de suelo incubado para el análisis de actividad microbiana. Una vez retirados los viales de la incubación de 7 días, se preparó el suelo con una solución de glucosa al 8%, mismo que se mezcló con una espátula y se homogenizó. Después, se introdujeron las trampas alcalinas previamente preparadas, un vial con 10 mililitros de agua destilada y otro con 10 mililitros de NaOH al 0.05N, estos dos viales se colocaron en el suelo de tal forma que quedaran lo más fijo posible (**Figura 10**). Los vasos ya listos se taparon con botes de plástico, y se colocaron en cajas del mismo material; en seguida se les colocó agua en el fondo de la caja de tal forma que cubriera las tapaderas de los botes que quedaron de forma invertida, se serraron las cajas con sus tapas y se cubrieron con una cobija para impedir el pase de luz. De esta manera se quedó el tratamiento por un periodo de seis horas, y terminado el tiempo se retiraron los viales.

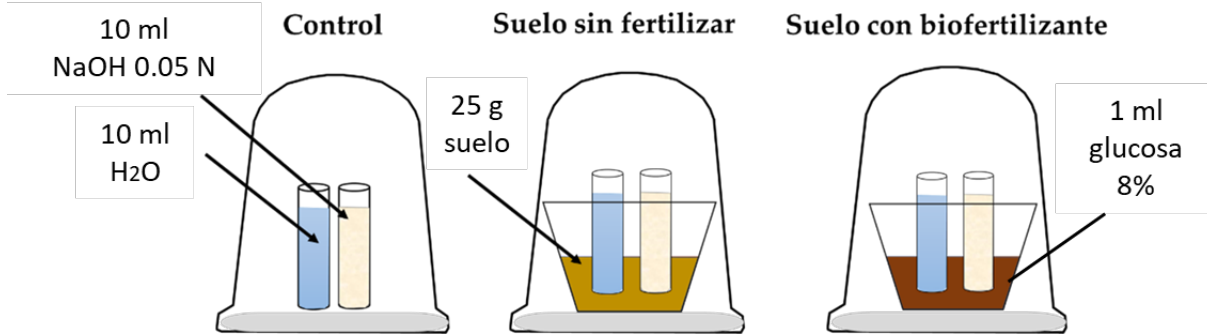


Figura 10. Diagrama del análisis de respiración inducida por sustrato; el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo contenedor tiene suelo no tratado con lixiviado ni vermicompost, y el tercer contenedor tiene suelo expuesto a lixiviado más la adición de glucosa al 8%.

Cada vial que contenía NaOH se vació en un matraz que contenía 2 mililitros de BaCl₂ al 0.5 M, a este se le agregó una gota de fenolftaleína al 1% y se prosiguió a homogenizar bien la mezcla. Para la titulación, en una bureta de 15 mililitros se colocó HCl al 0.05 N y se comenzó a vaciar el HCl a la mezcla hasta que diera el viraje de color. Se registró el volumen gastado de HCl y se hizo uso de las siguientes ecuaciones para obtener los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del primer y segundo muestreo del Rancho El Regalo (agosto-diciembre) del 2022, de los cuales se desglosa la respiración inducida por sustrato (RIS) que se obtuvo con la (Ecuación 9), posteriormente se obtuvo el carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) con la (Ecuación 10), y finalmente se obtuvo el valor del cociente metabólico (qCO₂) con la (Ecuación 11).

$$mg . C - CO_2 = (VB - VM) X 6 X NHCl$$

Eq. 9

$$1mg C - CO_2 100g - 1ssh = 20.6mg Cmic 100g - 1 suelo seco$$

Eq. 10

$$qCO_2 = \frac{C - CO_2 producido}{C - biomasa microbiana}$$

Eq. 11

3.3.3. Determinación de actividad microbiana, para tratamientos en laboratorio

Este experimento se realizó con la finalidad de observar la respuesta corto tiempo del lixiviado expuesto a suelos áridos de uso agrícola, en este caso dos cultivos de nogal con características diferentes que esencialmente se seleccionaron con el tiempo de uso de suelo, esto, observado por la edad de los individuos en el cultivo. Siendo así, los nogales que se analizaron del Rancho El Regalo tienen 3 años en el lugar, mientras que los nogales de Valle de Juárez tienen 45 años, lo cual corresponde al tiempo de uso de suelo.

De esta manera de las muestras que se recolectaron del Rancho El Regalo se tomaron por duplicado 25 gramos de suelo del grupo control, no expuesto al lixiviado, los primeros 10 siguieron la experimentación sin lixiviado, y se les ajustó la humedad con agua destilada mientras que a las otras 10 muestras se les agregó 2 mililitros de lixiviado y el resto de agua destilada para ajustar completamente la humedad (**Figura 11**). Lo mismo resultó para las muestras del valle de Juárez, 5 muestras de 25 gr para el control sin lixiviado y 5 muestras de 25 gramos para el tratamiento con lixiviado. Una vez homogenizado el suelo, se colocaron las alícuotas, una de 10 ml de agua destilada y la otra de 10 mililitros de NaOH al 0.3 N. Posteriormente se colocan en los botes de plástico y se sellan, después, se colocan en cajas de plástico y se les agrega agua hasta cubrir la orilla de las tapas impidiendo la entrada de aire y e igualando la presión atmosférica. Una vez listo todos los botes se tapan las cajas y se les coloca una cobija que impida la entrada de luz. De esta manera se dejan a oscuridad por 7 días.

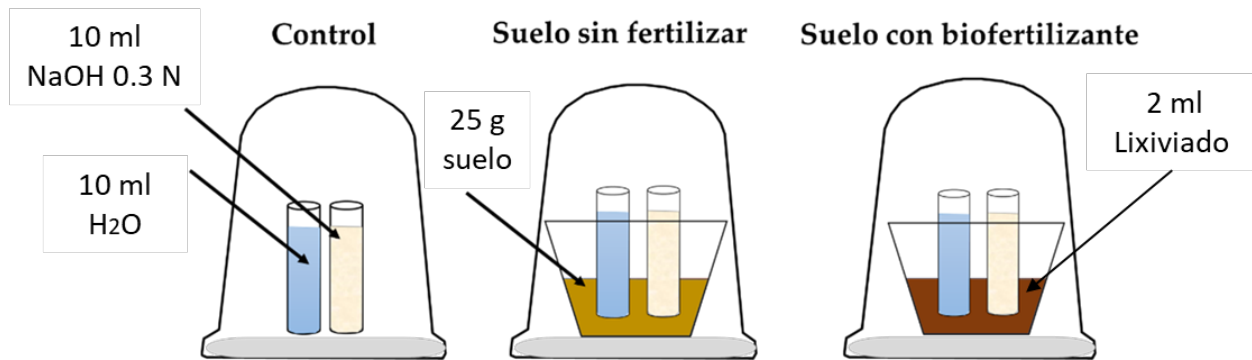


Figura 11. Diagrama del análisis de respiración con trampas alcalinas con muestras no expuestas con anterioridad a biofertilizantes Rancho El Regalo y Valle de Juárez; el primer contenedor es el blanco sin suelo, el segundo es suelo sin lixiviado y el tercer contenedor tiene lixiviado.

Terminado los 7 días de incubación, se retiraron los viales. En matraces Erlenmeyer de aproximadamente 250 mililitros se agregaron 2 mililitros de BaCl_2 (Cloruro de bario) al 0.5 M, después, se vertió cada alícuota de NaOH al matraz correspondiente y se agregó 1 gota de fenolftaleína al 1 %. Después, de homogenizar la mezcla, se prosiguió a realizar la titulación de Wared para trampas alcalinas, por lo que se preparó una bureta de HCl (Ácido clorhídrico) 0.3 N, agregando gota a gota el ácido hasta el viraje de color. Se registró el volumen gastado de HCl para cada una de las muestras, y con los datos obtenidos se usó la (**Ecuación 7**) para determinar la cantidad de CO_2 (Dióxido de carbono) expidió cada muestra durante 7 días; para obtener la respiración basal (RB) se usó la (**Ecuación 8**)

3.3.4. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en laboratorio.

Para realizar este procedimiento se continuó con las muestras de suelo incubado para el análisis de actividad microbiana. Una vez retirados los viales de la incubación de 7 días, se preparó el suelo con una solución de glucosa al 8%, mismo que se mezcló con una espátula y se homogenizó perfectamente. Después, se introdujeron las trampas alcalinas previamente preparadas, un vial con 10 mililitros de agua destilada y otro con 10 mililitros de NaOH al 0.05N, estos dos viales se colocaron en el suelo de tal forma que quedaran lo más fijo posible. Los vasos ya listos se taparon con botes de plástico, y se colocaron en cajas del mismo material; En seguida se les colocó agua en el fondo de la caja de tal forma que cubriera las tapaderas de los botes que quedaron de forma invertida, se serraron las cajas con sus tapas y se cubrieron con una cobija para impedir el pase de luz. De esta manera se quedó el tratamiento por un periodo de tiempo de seis horas, y terminado el tiempo se retiraron los viales.

Cada vial que contenía NaOH se vació en un matraz que contenía 2 mililitros de BaCl_2 al 0.5 M, a este se le agregó una gota de fenolftaleína al 1 % y se prosiguió a homogenizar bien la mezcla. Para la titulación, en una bureta de 15 mililitros se colocó HCl al 0.05 N y se comenzó a vaciar el HCl a la mezcla hasta que diera el viraje de color. Se registró el volumen gastado de HCl y se hizo uso de las siguientes ecuaciones para obtener los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del primer y segundo muestreo del Rancho El Regalo (agosto-diciembre) del 2022, de los cuales se desglosa la respiración inducida por sustrato (RIS) que se obtuvo con la (**Ecuación 9**), posteriormente se obtuvo el carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) con la (**Ecuación 10**), y finalmente se obtuvo el valor del cociente metabólico ($q\text{CO}_2$) con la (**Ecuación 11**).

3.3.5. Registro de datos y análisis estadístico

Los datos obtenidos de todo el proceso se anotaron en una bitácora, que posteriormente se pasaron a un archivo de Excel. Al tener la totalidad de los datos, se organizaron para ser analizados por el programa IBM SPSS Statistics 27 para así ser usados para el análisis estadístico. Primero se realizó el estudio de normalidad de los datos, al no ser normales se usó la U de Man Whitney no paramétrica para comparar los grupos y finalmente se describieron los rangos predio de los datos bajo una significancia de $p < 0.05$.

Capítulo 4. Resultados y Discusión

A continuación, se describen los resultados fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de los análisis de suelo, los cuales al realizar la prueba estadística de normalidad de datos Kolmogorov-Smirnov, se encontró que la mayoría de los datos no tuvieron distribución normal y requirieron transformación, por lo que en este estudio se decidió realizar Análisis no paramétricos como la técnica de U Mann-Whitney de comparación de muestras.

4.1. Resultados del análisis fisicoquímico general de suelo, agua y lixiviados del Rancho El Regalo y Valle de Juárez.

4.1.1. Caracterización fisicoquímica del suelo

(1) Análisis de humedad

Los resultados de humedad se expresaron en porcentaje, obteniendo para el primer muestreo en el grupo con tratamiento un máximo de 46.62% y un mínimo de 15.74%, mientras que en el grupo control fue un máximo de 10.85% y un mínimo de 4.32% (**Figura 12**). El análisis estadístico arrojó que existen diferencias significativas entre tratamientos siendo mayor en el tratamiento con fertilizante ($p < 0.05$) que el grupo control sin fertilizante. Los promedios observados fueron 29.2 y 7.15% respectivamente de humedad del suelo (**Tabla 5**).

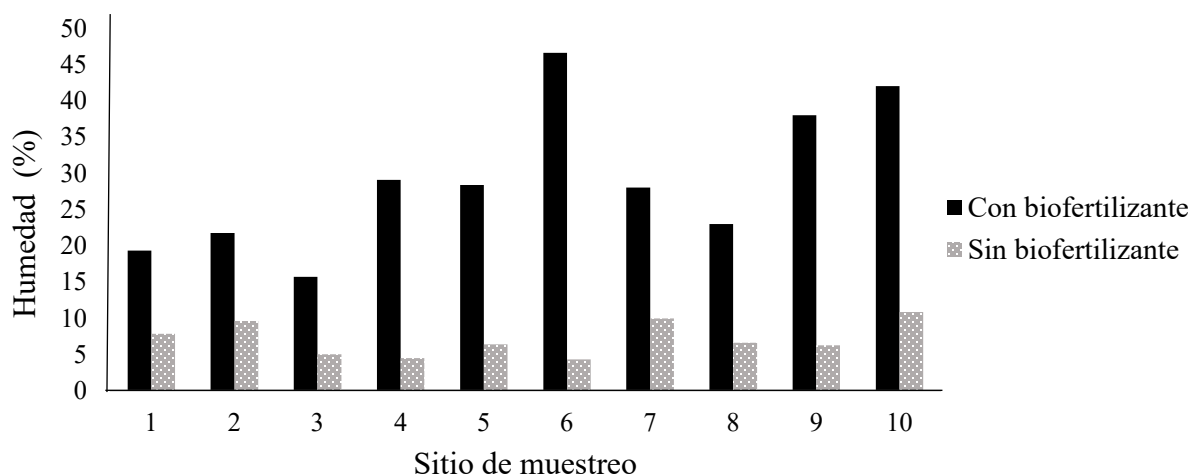


Figura 12. Porcentaje de humedad en las muestras después de colectadas en el primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 5. Valores medios (\pm desviación estándar) de las variables fisicoquímicas del suelo en dos tratamientos, con biofertilizante (CB) y sin biofertilizante (SB), evaluados del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Variable	Unidades	CB1	SB1	Valor p
Humedad	%	29.20 \pm 10.10 a	7.15 \pm 2.34 b	0.000
C.R.A	%	58.60 \pm 5.35 a	53.50 \pm 2.12 b	0.012
pH		8.56 \pm 0.15 a	8.47 \pm 0.15 a	0.201
CE	dS m ⁻¹	5.21 \pm 2.32 a	6.81 \pm 5.81 a	0.432
NaCl	%	1.88 \pm 0.83 a	2.46 \pm 2.12 a	0.432
SDT	ppm	522.65 \pm 232.60 a	676.40 \pm 592.74 a	0.455
N-NH ₄	mg/kg	11.52 \pm 2.36 a	11.79 \pm 1.85 a	0.778
N-NO ₃	mg/kg	14.83 \pm 14.61 a	27.02 \pm 25.50 a	0.207
N inorgánico	mg/kg	26.36 \pm 16.13 a	38.81 \pm 26.59 a	0.222

CRA=Capacidad de retención de agua, pH= potencial de hidrógeno, CE=Conductividad eléctrica, NaCl= Cloruro de sodio, SDT= Sólidos disueltos totales, NH₄= amonio, NO₃=nitrito, N=nitrógeno. Nota: Promedios con letras iguales no son diferentes estadísticamente ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney ($n=10$).

Para el segundo muestreo obtenemos en el grupo con tratamiento un máximo de humedad del 18.64% y un mínimo de 16.06% mientras que en el grupo control fue un máximo de 14.71% y un mínimo de 9.69% (**Figura 13**), observando promedios estadísticos de 17.71 y 13.01 % respectivamente de humedad del suelo. Por lo tanto, el análisis arrojó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo mayor en el que contenía biofertilizante ($p < 0.05$) (**Tabla 6**).

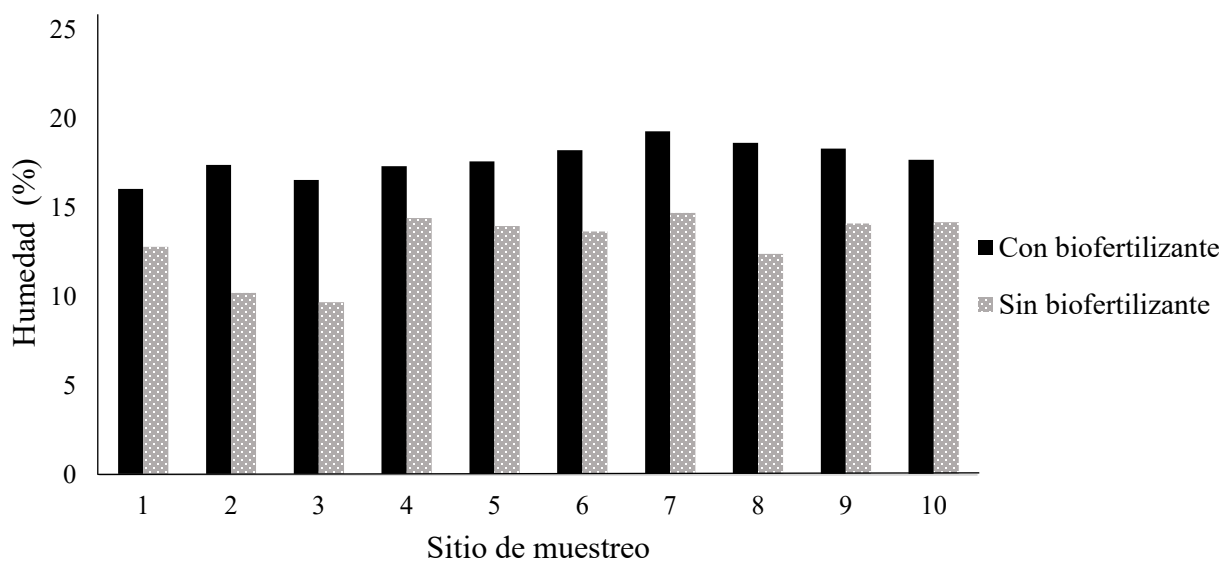


Figura 13. Porcentaje de humedad obtenido en las muestras después de colectadas en el segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 6. Valores medios (\pm desviación estándar) de las variables fisicoquímicas de suelo en dos tratamientos, con biofertilizante (CB) y sin biofertilizante (SB), del segundo muestreo del 3 de diciembre del 2022 en el Rancho El Regalo.

Variable	Unidades	CB2	SB2	Valor <i>p</i>
Humedad	%	17.71 \pm 0.96 a	13.01 \pm 1.76 b	0.000
CRA	%	55.6 \pm 2.63 a	54.80 \pm 1.93 a	0.449
pH		8.67 \pm 0.15 a	8.51 \pm 0.06 b	0.001
CE	dS m ⁻¹	3.16 \pm 0.45 b	5.59 \pm 1.85 a	0.000
NaCl	%	1.15 \pm 0.17 b	2.02 \pm 0.67 a	0.000
SDT	ppm	316.90 \pm 45.40 b	559.95 \pm 186.15 a	0.000
N-NH ₄	mg/kg	3.60 \pm 1.88 b	6.33 \pm 2.56 a	0.010
N-NO ₃	mg/kg	3.16 \pm 2.87 b	7.74 \pm 3.8 a	0.003
N inorgánico	mg/kg	6.76 \pm 3.53 b	14.08 \pm 4.96 a	0.004

CRA=Capacidad de retención de agua, pH= potencial de hidrógeno, CE=Conductividad eléctrica, NaCl= Cloruro de sodio, SDT= Sólidos disueltos totales, NH₄= amonio, NO₃=nitrato, N=nitrógeno. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney ($n=10$).

En el monitoreo sin biofertilizante ubicado en el Valle de Juárez se encontraron porcentajes de humedad de 21.35 como máxima y 14.24% como mínima (**Figura 14**), su rango promedio estadísticamente fue 18.55 y 2.60 % (**Tabla 7**). Estos porcentajes fueron similares al segundo muestreo con respecto al Rancho El Regalo, ya que en las fechas de estos muestreos se deja de regar el suelo. En el caso de la diferencia de porcentaje entre el máximo y el mínimo obtenido, se puede deber a la irregularidad del terreno en el cultivo, ya que se observó que algunas muestras si se encontraban más húmedas que otras en el momento de manipularlas en campo, especialmente en las de los extremos del cultivo.

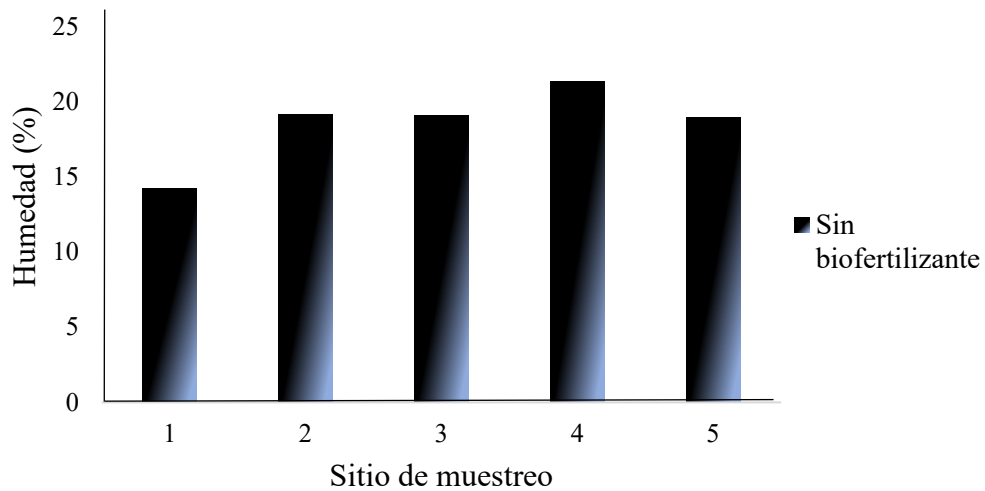


Figura 14. Porcentaje de humedad obtenido en las muestras después de colectadas del muestreo del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

Tabla 7. Valores medios de las variables fisicoquímicas de suelo sin biofertilizante (VJ SB) del muestreo del 6 noviembre del 2022 en el Valle de Juárez.

Variable	Unidades	VJ SB
Humedad	%	18.55
CRA	%	63.2
pH		8.78
CE	dS m ⁻¹	1.31
NaCl	%	0.48
SDT	ppm	131.9
N-NH ₄	mg/kg	11.41
N-NO ₃	mg/kg	7.93
N inorgánico	mg/kg	19.35

CRA= Capacidad de retención de agua, pH= potencial de hidrógeno, CE=Conductividad eléctrica, NaCl= Cloruro de sodio, SDT= Sólidos disueltos totales, NH₄= amonio, NO₃=nitrato, N=nitrógeno. Nota: (n=5).

(2) Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua para el primer muestreo en el grupo con tratamiento fue de un máximo de 70% y un mínimo de 50% mientras que el grupo control presentó como máximo un 57% y un mínimo de 50% (**Figura 15**). El análisis estadístico arrojó que existen diferencias significativas entre tratamientos siendo mayor en el tratamiento con fertilizante ($p < 0.05$) que el grupo control sin fertilizante. El rango promedio observado fue de 58.60% y 53.50 % respectivamente de humedad del suelo tal y como se muestran en la (**Tabla 5**).

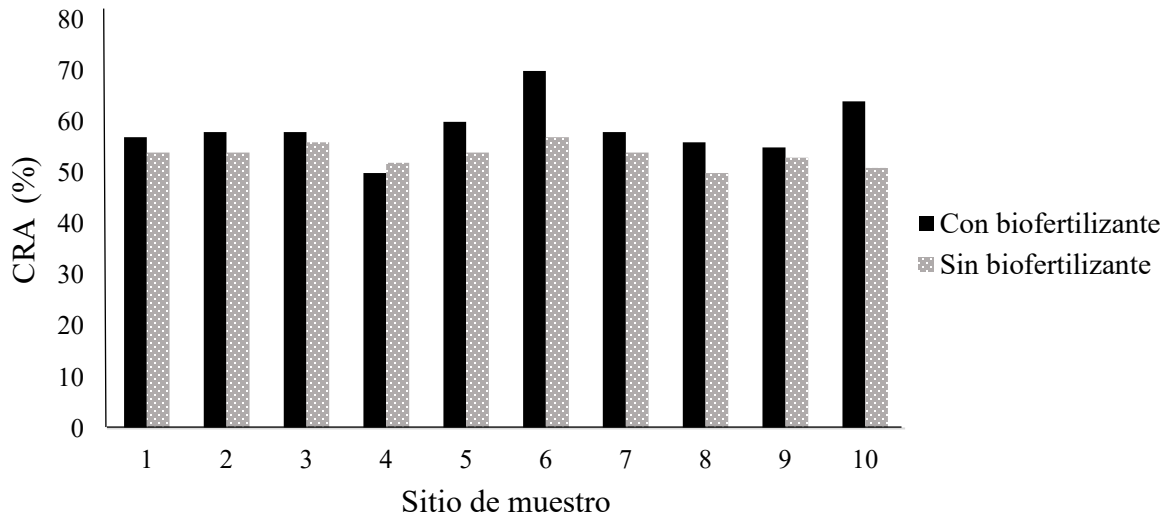


Figura 15. Capacidad de retención de agua (CRA) del suelo obtenido en las muestras después de colectadas en el primer muestreo del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

En el segundo muestreo se obtuvo en el grupo con tratamiento un máximo de capacidad de retención de agua del 60% y un mínimo de 52.2% mientras que en el grupo control fue un máximo de 58% y un mínimo de 52% (**Figura 16**), observando promedios estadísticos de 55.60% y 54.80% respectivamente de humedad del suelo. Por lo tanto, el análisis arrojó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) (**Tabla 6**).

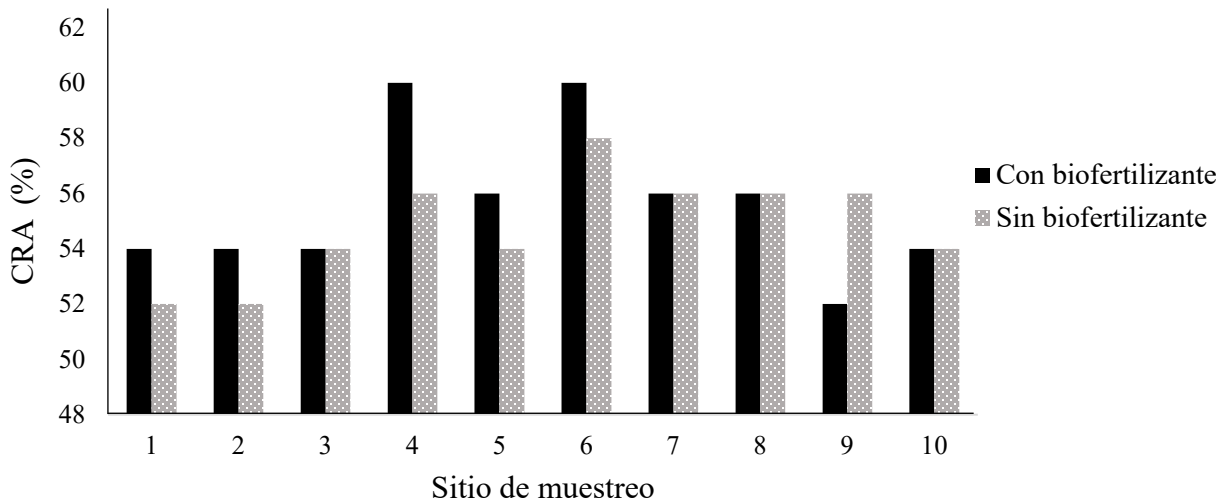


Figura 16. Capacidad de retención de agua (CRA) en suelo obtenido en las muestras después de colectadas en el segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de capacidad de retención de agua para el Valle de Juárez fue en el sitio 1 y 2 de 63%, en el sitio 3 y 5 un 64% y el sitio 4 que resulto con el porcentaje más bajo de 62% (**Figura17**), y estos resultados dieron un promedio de 63.2% (**Tabla 7**).

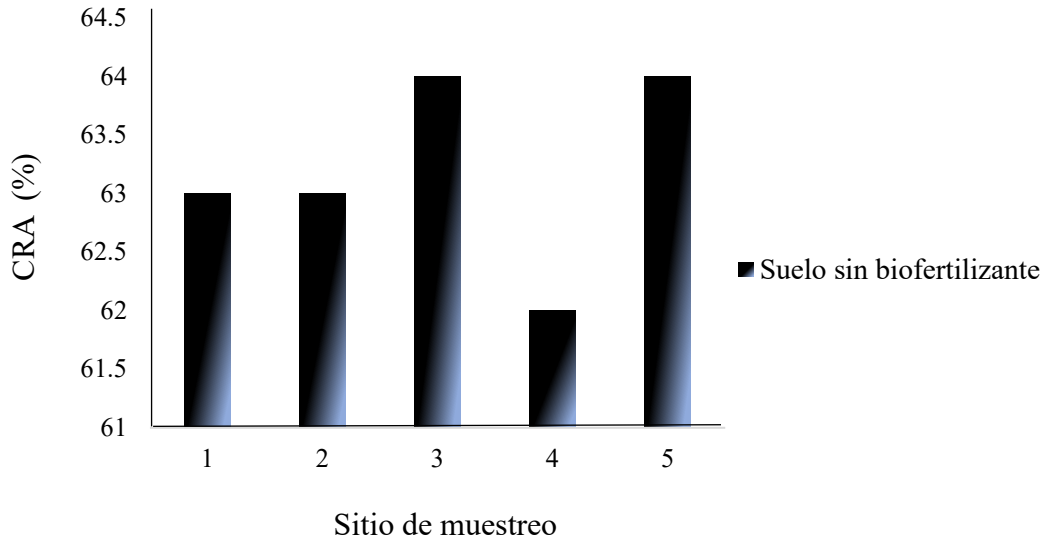


Figura 17. Porcentaje de capacidad de retención de agua en suelo obtenido en las muestras después de colectadas en San Isidro localidad del Valle de Juárez, 6 de noviembre de 2022.

(3) Textura del suelo

En la **Tabla 8**, se muestra el análisis de textura del suelo de 6 puntos de los 10 que contempla el estudio en el Rancho El Regalo, estos puntos se seleccionaron de forma que dieran información representativa de los tipos de suelo alrededor de los puntos muestreados conforme al estudio realizado por Galaviz (2023), en donde con el presente estudio se lograron así identificar las muestras No 2, No 3, No 5, No 6, No 7 y No 8 y se anexaron dos realizadas por Galaviz (2023).

Del total de muestras en el Rancho El Regalo se obtuvo un 63% de suelo con textura Franco arenosa, un 12% como franca y un 25% como Franco arcillo arenosa cuyos porcentajes de arena, arcilla y limo (**Tabla 8**). Los puntos de cruce en el triángulo de texturas se encuentran en la **Figura 18**. Además, en la **Figura 19** se muestra el grafico de la distribución de los puntos dentro del muestreo con el tipo de suelo.

Las muestras del Valle de Juárez mostraron en su mayoría ser suelo franca, solo uno de los puntos fue franca arcillosa (**Tabla 9**) y los puntos de cruce se muestran en la **Figura 10**.

Tabla 8. Porcentajes de arena, arcilla y limo de las muestras del Rancho El Regalo

Número de muestra	%Arena	%Arcilla	%Limo	Clasificación
No 1 *	68	13	19	Franco arenosa
No 2 -	59.28	15.44	25.28	Franco arenosa
No 3	48.76	20.88	30.36	Franca
No 5	55.28	14.8	29.92	Franco arenosa
No 6 -	52.76	21.24	26	Franco arcillo arenosa
No 7	52.48	21.24	26.28	Franco arcillo arenosa
No 8	57.48	18.24	24.28	Franco arenosa
No 11 *	69	14	17	Franco arenosa

Nota: con * realizados por Galaviz (2023) y - se llegó al mismo resultado.

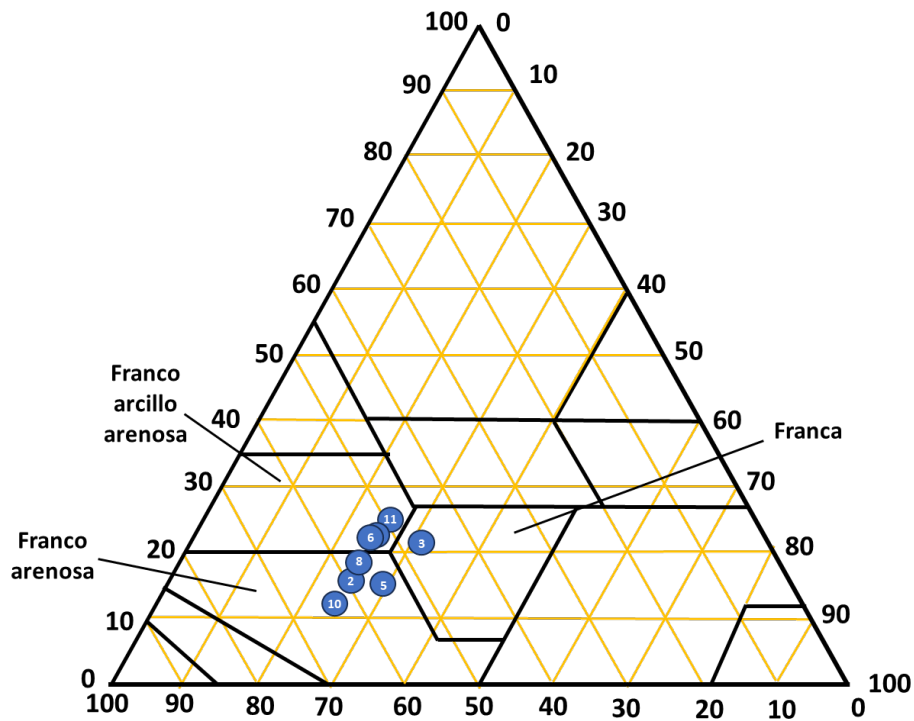


Figura 18. Lugares en los que resultó la prueba de textura de los suelos del Rancho El Regalo.

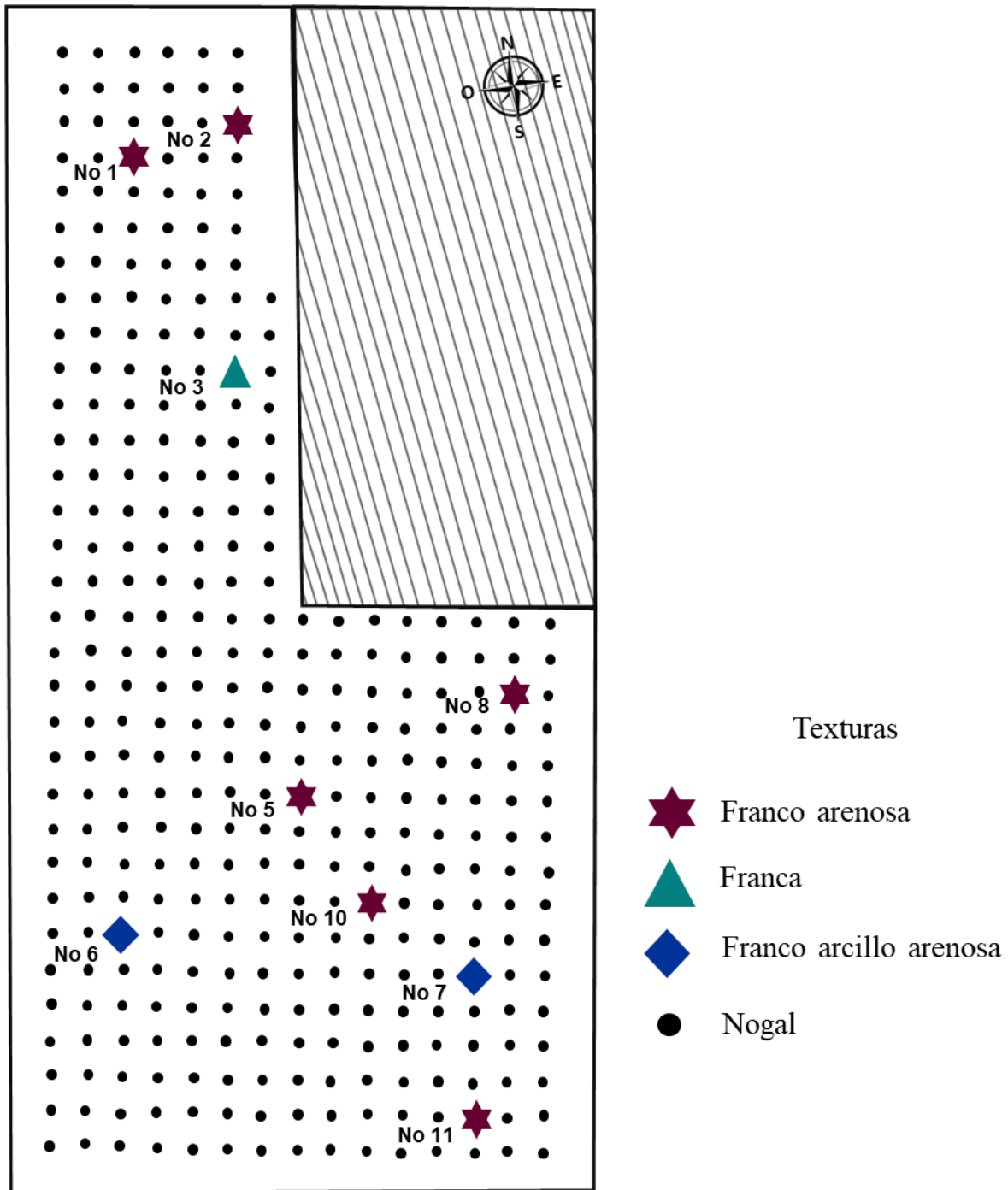


Figura 19. Textura de suelo en el lugar en el que se encuentran en el cultivo del Rancho El Regalo.

Tabla 9. Porcentajes de arena, arcilla y limo de las muestras de San Isidro localidad del Valle de Juárez

Muestra	%Arena	%Arcilla	%Limo	Clasificación
No 1	32.48	24.68	42.84	Franca
No 2	41.76	16.68	41.56	Franca
No 4	28.76	28.68	42.56	Franco arcillosa
No 5	31.76	19.54	48.7	Franca

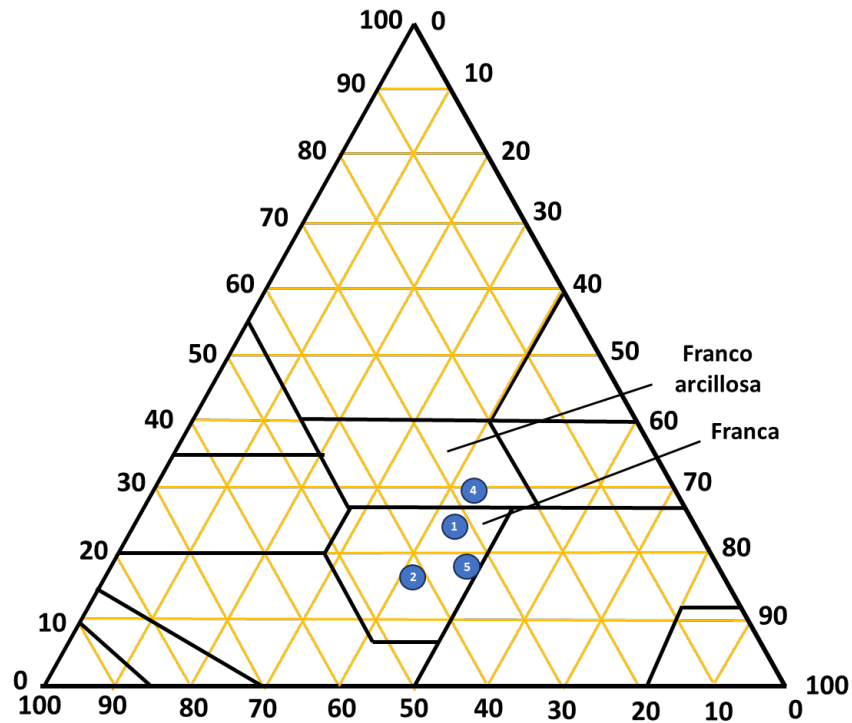


Figura 20. Se muestran los resultados obtenidos de tipo de suelo del monitoreo en Valle de Juárez.

(4) pH del suelo

El análisis de pH para el primer muestreo resultó en valores máximos de 8.79 y mínimos de 8.36 en el grupo con tratamiento, mientras que en el grupo control se obtuvieron máximos de 8.68 y mínimos de 8.24 (**Figura 21**). Según la clasificación del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000 el 50% de los resultados para el grupo con tratamiento fueron suelo fuertemente alcalino y 50% fueron suelo medianamente alcalino. Para el grupo control, resultaron en 30% fuertemente alcalino y un 70% medianamente alcalino. El análisis estadístico para este primer muestreo arrojó que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), mostrando rangos promedio de 8.56 y 8.47 respectivamente (**Tabla 5**).

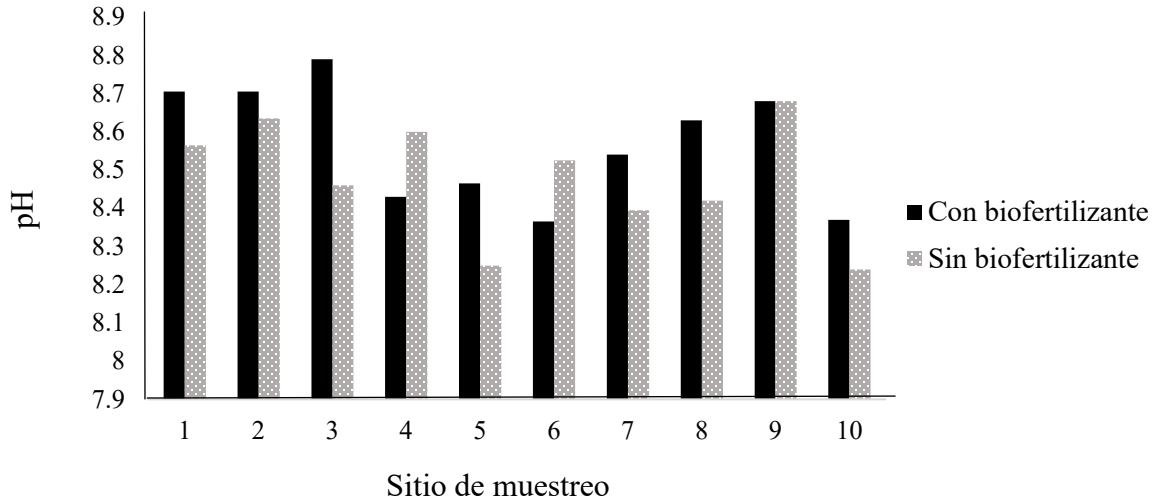


Figura 21. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

En el segundo muestreo se obtuvieron para el grupo con tratamiento un máximo de 8.73 y un mínimo de 8.54 y según la clasificación del suelo de la NOM-021-RECNAT-2000 se obtuvo un 90 % de suelo fuertemente alcalino y un 10 % de suelo medianamente alcalino. Para el grupo control, se obtuvo una máxima de 8.59 y un mínimo de 8.41 (**Figura 22**). Teniendo como clasificación promedio un 100% de suelo medianamente alcalino. El análisis estadístico mostró que sí existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor el grupo con tratamiento con rangos promedio de 8.67 y 8.51 respectivamente (**Tabla 6**).

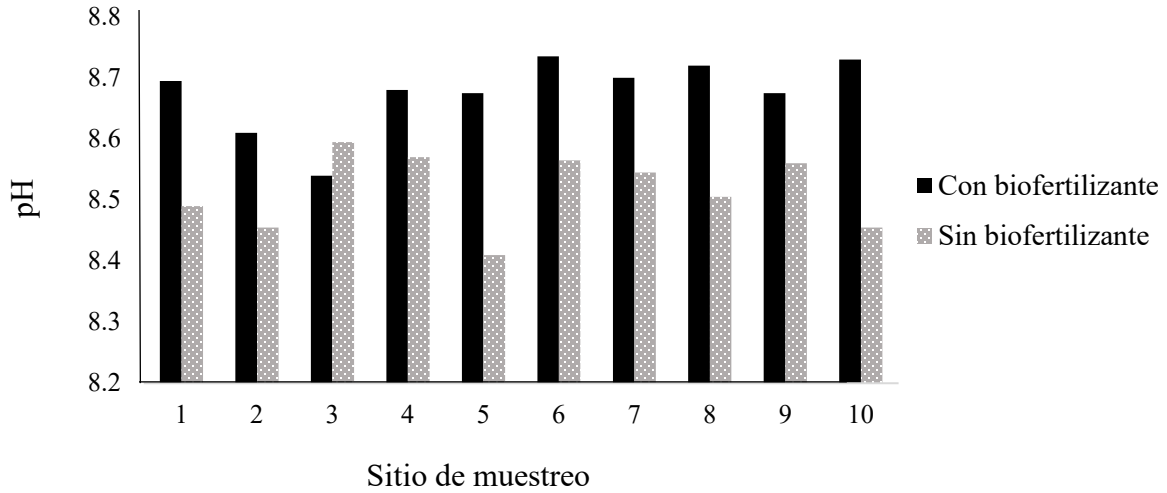


Figura 22. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

El suelo de Valle de Juárez mostró valores máximos de 9.01 y mínimos de 8.51, presentando así un 80% de fuertemente alcalino y un 20% de medianamente alcalino. Teniendo un estadístico de rango de promedio de 8.55 (Figura 23 y Tabla 7).

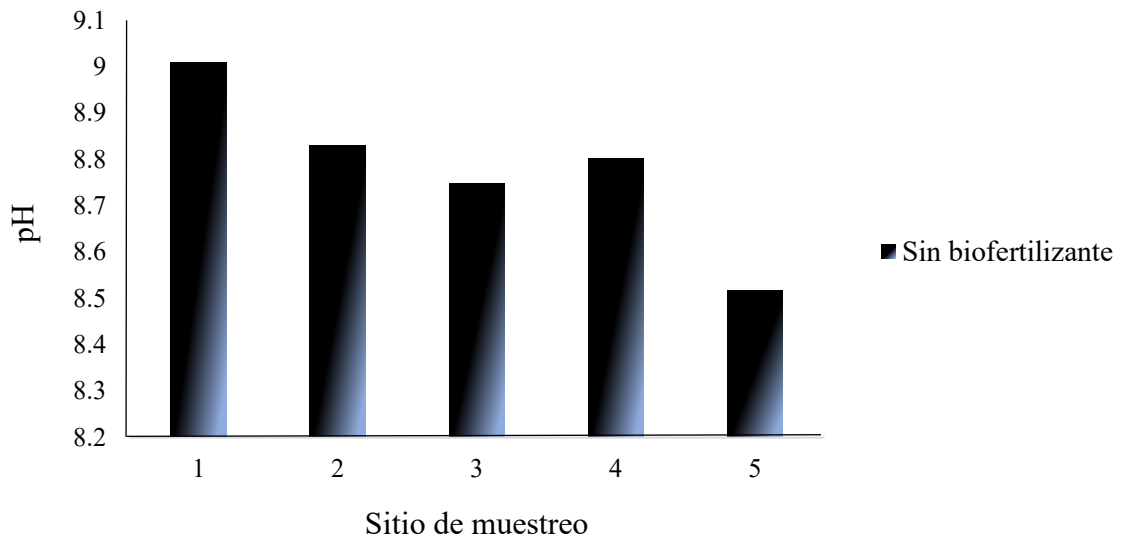


Figura 23. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

(5) Conductividad eléctrica (salinidad), %NaCl y SDT (Sólidos disueltos totales)

Para el grupo con tratamiento del primer muestreo del Rancho El Regalo los resultados de conductividad eléctrica fueron valores máximos de 8.48 dS m^{-1} y mínimos de 2.3 dS m^{-1} , mientras que para el grupo control fueron como máximo 20.15 dS m^{-1} y 2.21 dS m^{-1} como mínimo. según la interpretación de conductividad eléctrica en el suelo bajo la NOM-021-RECNAT-2000. Se obtuvieron para el grupo con tratamiento de biofertilizante un 40% de suelo moderadamente salino, 50% de suelo salino y un 10% de suelo fuertemente salino; mientras que para el grupo control se obtuvieron 30% de suelo moderadamente salino, 50% suelo salino y un 20% de suelo fuertemente salino (**Figura 24**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos arrojó que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 5.21 y 6.81 respectivamente (**Tabla 5**).

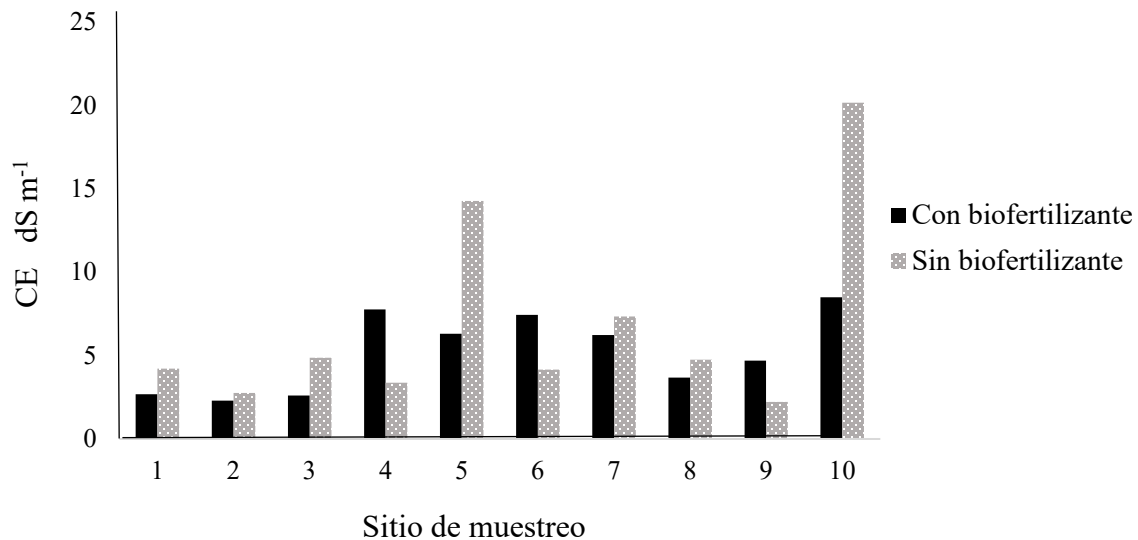


Figura 24. Valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

Para el grupo con tratamiento del segundo muestreo del Rancho El Regalo los resultados de conductividad eléctrica o salinidad fueron valores máximos de 3.76 dS m^{-1} y mínimos de 2.44 dS m^{-1} , mientras que para el grupo control fueron como máximo 9.45 dS m^{-1} y 4.01 dS m^{-1} como mínimo. Según la interpretación de conductividad eléctrica en el suelo bajo la NOM-021-RECNAT-2000, se obtuvieron para el grupo con tratamiento un 100% de suelo Moderadamente salino; mientras que para el grupo control, se obtuvieron un 20% de suelo moderadamente salino, 60% suelo salino y un 20% de suelo fuertemente salino (**Figura 25**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos arrojó que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control sin biofertilizante, los cuales mostraron un rango promedio de 5.59 y 3.16 respectivamente (**Tabla 5**).

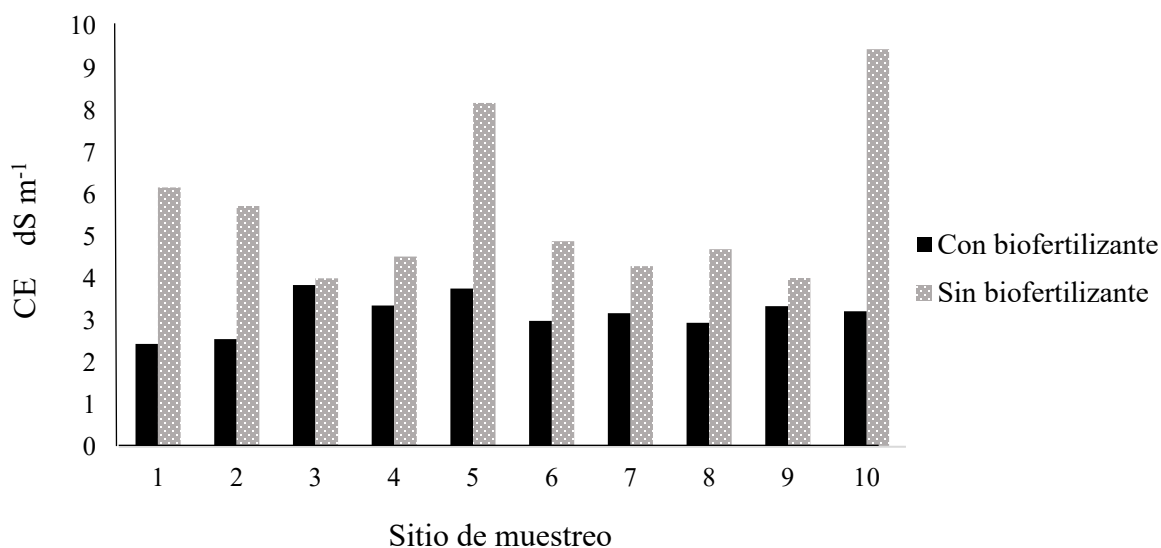


Figura 25. Se muestran los valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados para el Valle de Juárez arrojaron conductividades máximas de 1.39 dS m⁻¹ y mínimas de 1.07 dS m⁻¹, lo que dio como consecuencia un 100% de suelo muy ligeramente salino (Figura 26) con un rango promedio de 1.31 (Tabla 7).

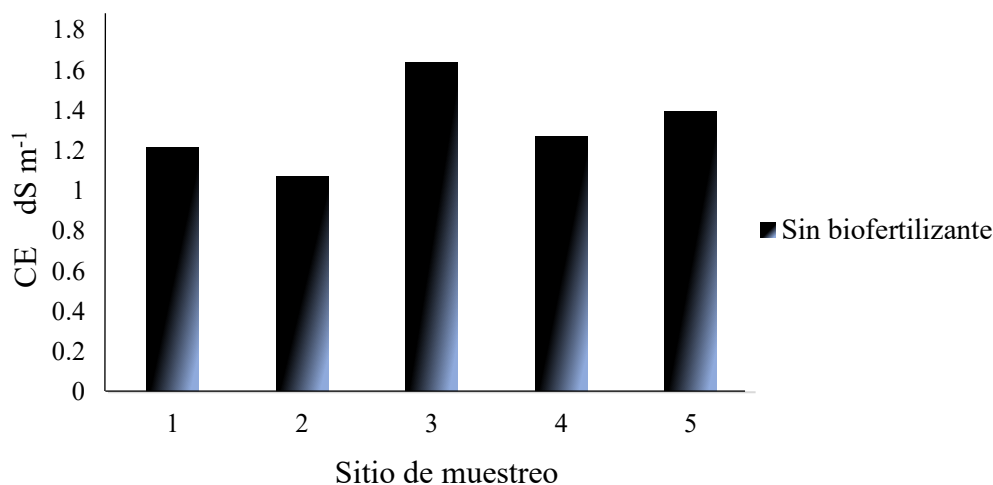


Figura 26. Valores de conductividad eléctrica en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

Los resultados de cloruro de sodio (NaCl) para el primer muestreo fueron los siguientes, como máximos de 3.05 % y mínimos de 0.85% de NaCl, mientras que para el grupo control fueron como máximo 7.35% y 0.8% de NaCl como mínimo (Figura 27). El análisis estadístico comparativo

entre los dos tratamientos arrojo que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 1.88 y 2.46 respectivamente como se muestra en la (Tabla 5).

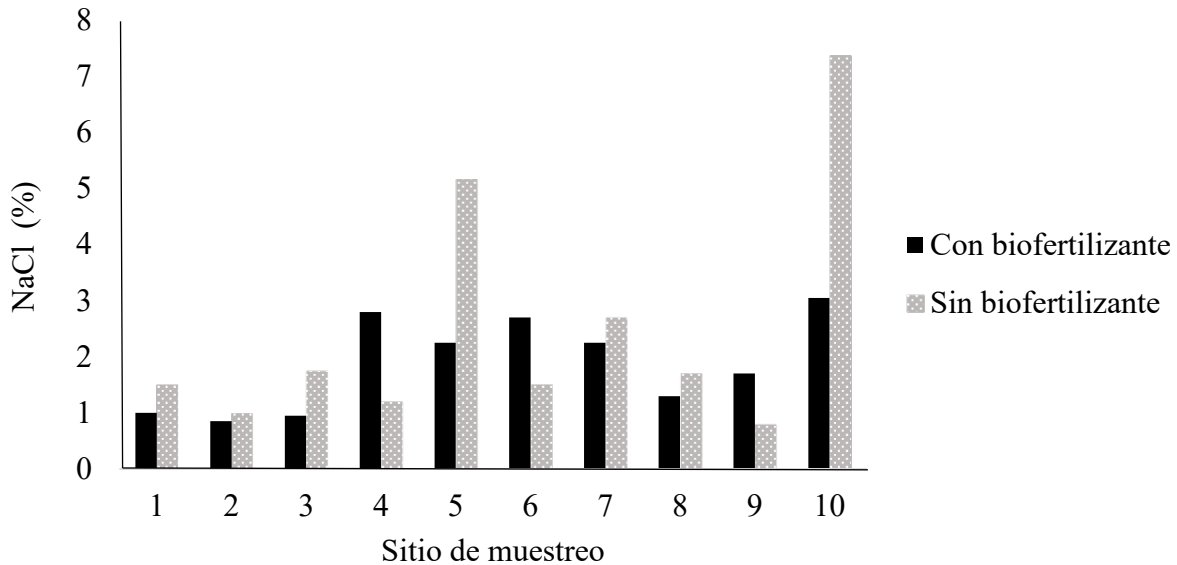


Figura 27. Valores de cloruro de sodio en el suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de cloruro de sodio (NaCl) para el segundo muestreo fueron los siguientes, como máximos de 1.4 % y mínimos de 0.9% de NaCl, mientras que para el grupo control fueron como máximo 3.4% y 1.45% de NaCl como mínimo, (Figura 28). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos arrojo que sí existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control los cuales mostraron un rango promedio de 2.02 y 1.15 respectivamente (Tabla 6).

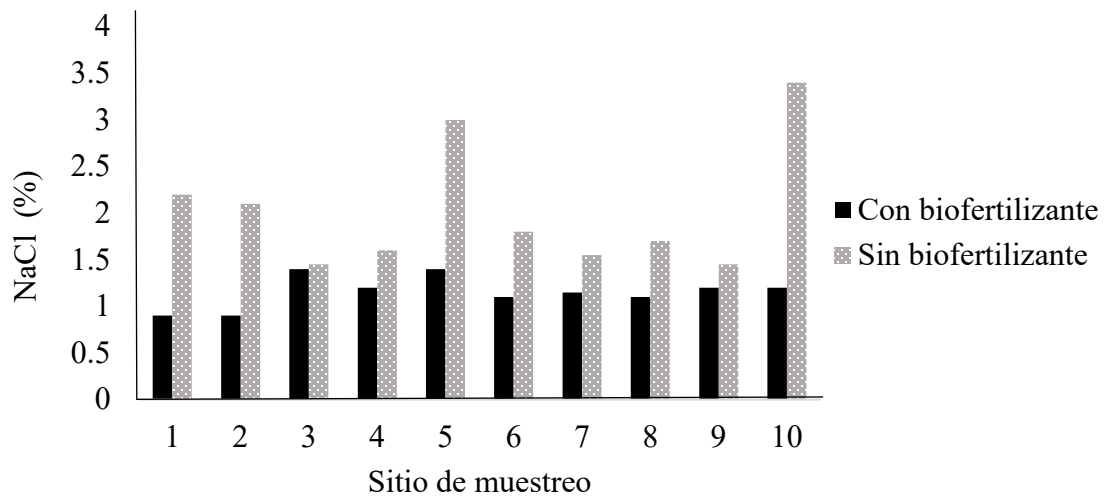


Figura 28. Valores de cloruro de sodio en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados para el Valle de Juárez obtuvieron valores máximos de 0.6 y un mínimo de 0.37% de NaCl con un promedio de 0.48 como se muestra en la (Tabla 7 y Figura 29).

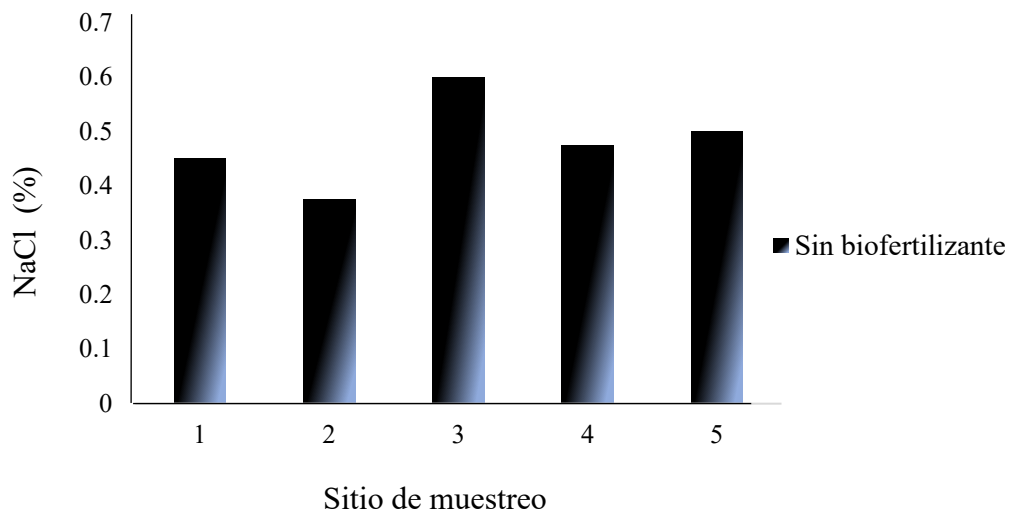


Figura 29. Valores porcentuales de cloruro de sodio en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

Los resultados de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el primer muestreo fueron los siguientes, como máximos de 850 ppm y mínimos de 230 ppm, mientras que para el grupo control fueron como máximo 2035 ppm y 221.5 ppm como mínimo, tal y como se muestra en la (**Figura 30**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos arrojó que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 522.65 y 676.40 (**Tabla 5**).

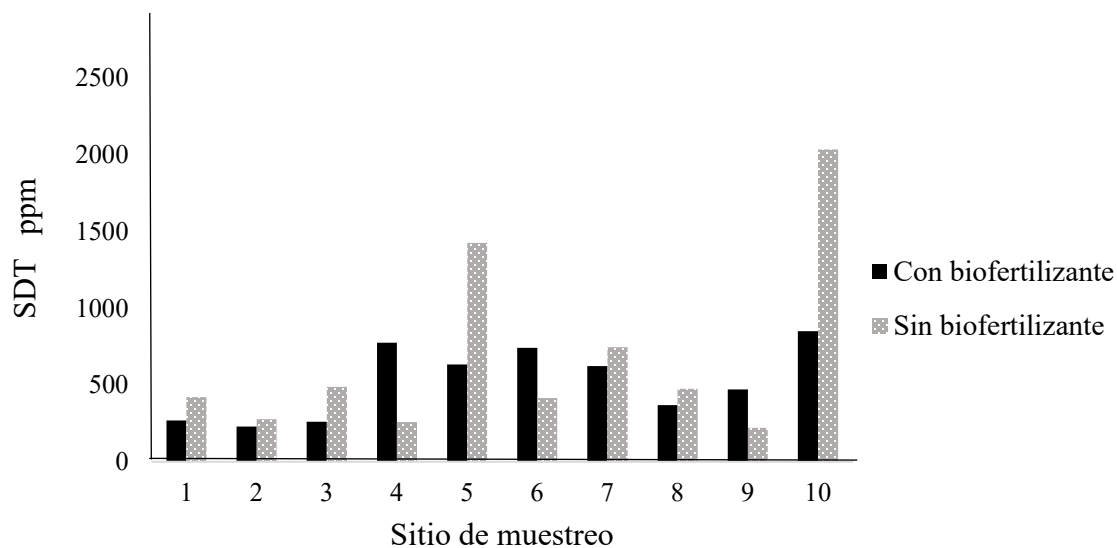


Figura 30. Valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de Sólidos Disueltos Totales para el segundo muestreo fueron los siguientes, como máximos de 385 ppm y mínimos de 244.5 ppm, mientras que para el grupo control fueron como máximo 947.5 ppm y 401 ppm como mínimo (**Figura 31**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos arrojó que sí existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control los cuales mostraron un rango promedio de 316.90 y 559.95 respectivamente como se muestra en la (**Tabla 6**).

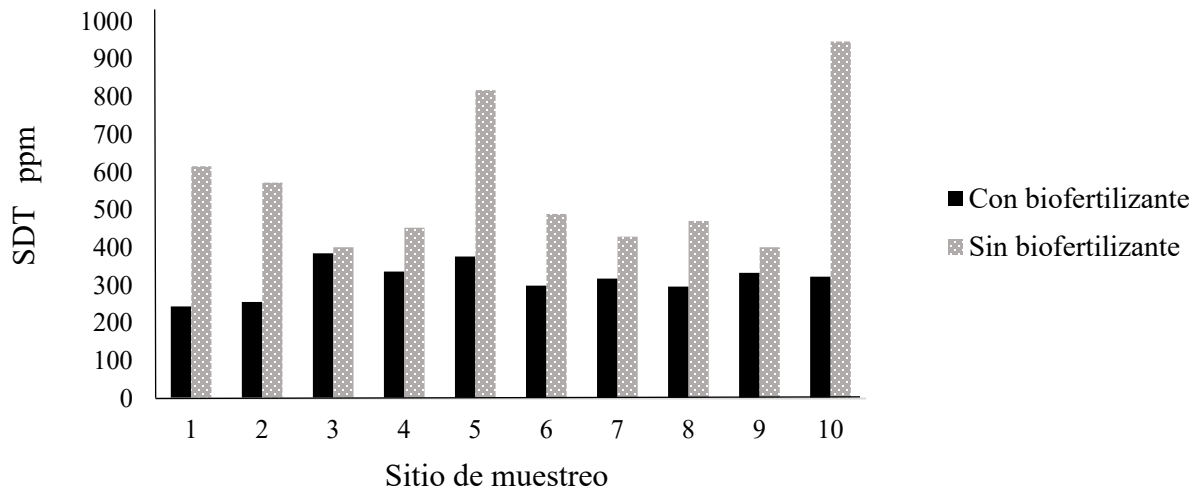


Figura 31. Valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de Solidos Disueltos Totales para el Valle de Juárez fueron valores máximos de 163 ppm y un mínimo de 107.7 ppm con un promedio de 131.90 como se muestra en la (Figura 32 y Tabla 7).

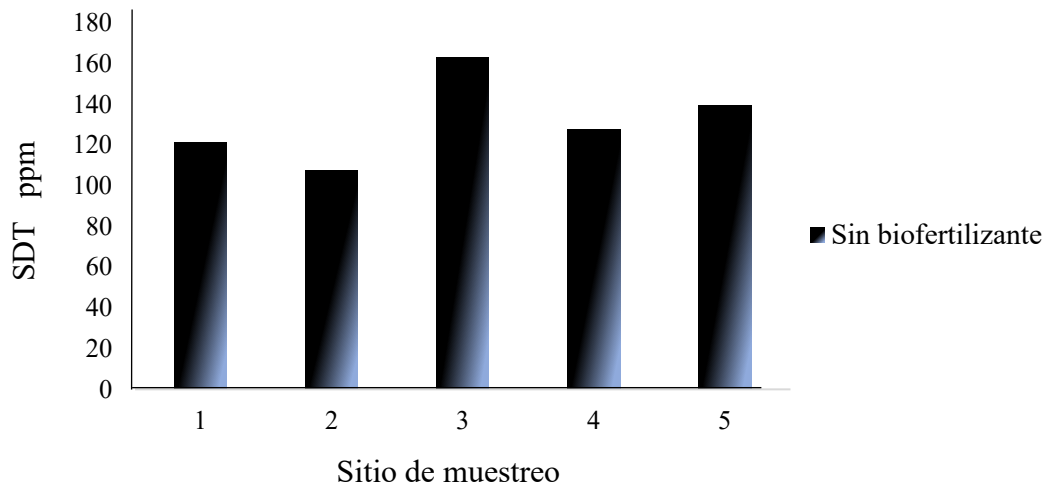


Figura 32. Se muestran los valores de solidos disueltos totales en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

(6) Nitrógeno inorgánico en el suelo

Los resultados de amonio (N-NH_4) del primer muestreo fueron los siguientes: como máximos de 15.86 N-NH_4 mg/kg de suelo y mínimos de 8.78 N-NH_4 mg/kg de suelo, mientras que para el grupo control fueron como máximo 16.1 N-NH_4 mg/kg de suelo y un mínimo de 10.03 N-NH_4 mg/kg de suelo (**Figura 33**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 11.52 y 11.79 respectivamente como se muestra en la (**Tabla 5**).

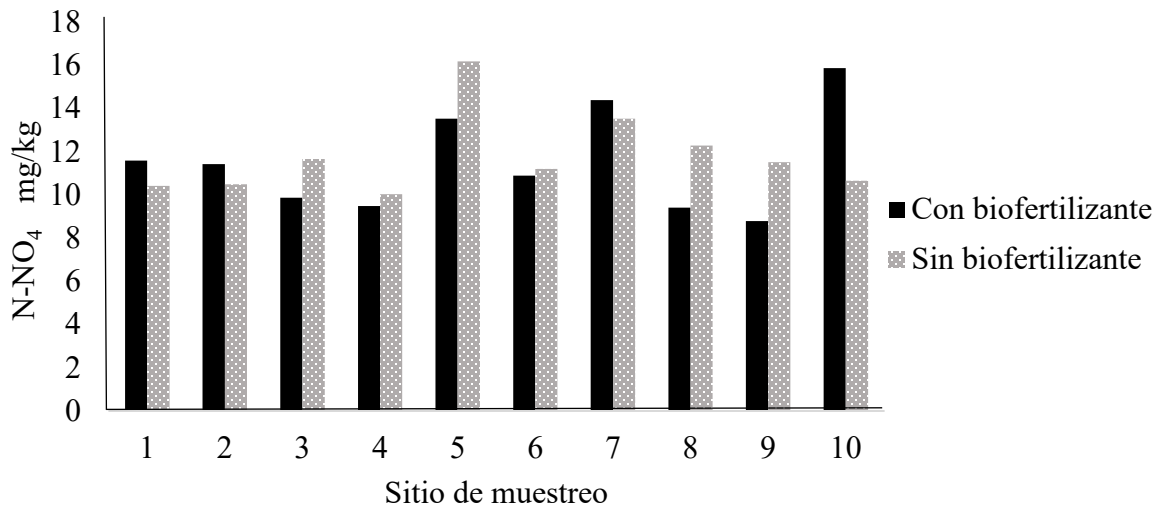


Figura 33. Valores de amonio en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de amonio (N-NH_4) del segundo muestreo fueron los siguientes, como máximos de 6.22 N-NH_4 mg/kg de suelo y mínimos de 0.77 N-NH_4 mg/kg de suelo, mientras que para el grupo control fueron como máximo 9.48 N-NH_4 mg/kg de suelo y un mínimo de 0.077 N-NH_4 mg/kg de suelo en el cultivo (**Figura 34**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que sí existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 6.33 y 3.60 respectivamente como se muestra en la (**Tabla 6**).

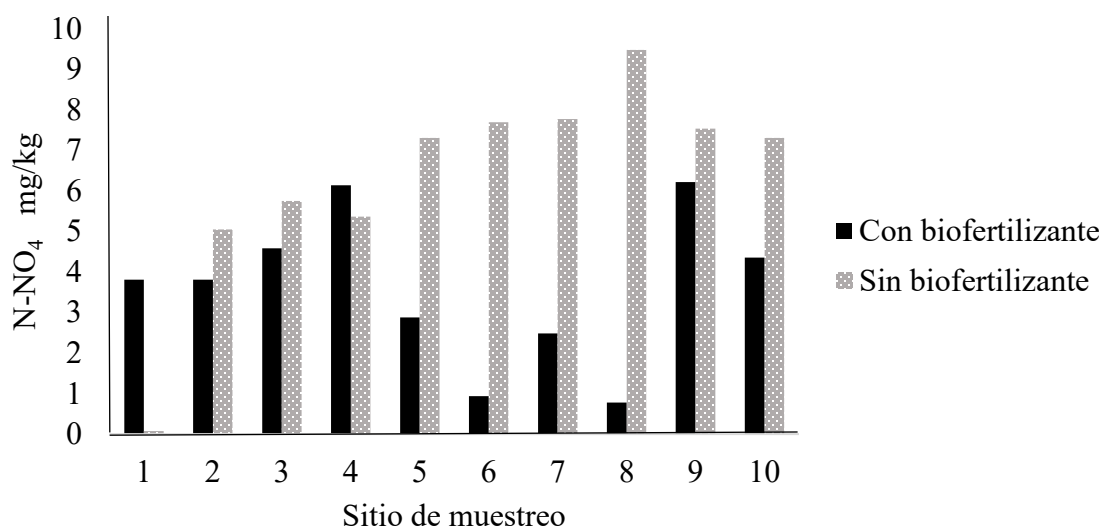


Figura 34. Valores de amonio en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados para el Valle de Juárez obtuvieron valores máximos de 12.75 N-NH₄ mg/kg y un mínimo de 10.73 N-NH₄ mg/kg de suelo con un promedio de 11.41 como se muestra en la (Figura 35 y la Tabla 7).

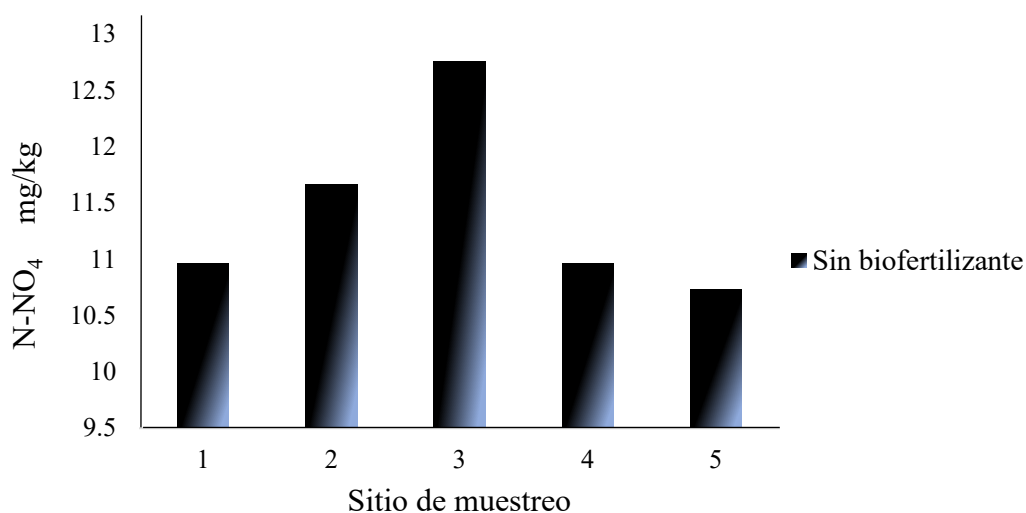


Figura 35. Valores de pH en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

Los resultados de nitrato (N-NO₃) del primer muestreo fueron los siguientes, como máximos de 52.22 N-NO₃ mg/kg de suelo y mínimos de 2.80 N-NO₃ mg/kg suelo de suelo, mientras que para el grupo control fueron como máximo 76.32 N-NO₃ mg/kg suelo de suelo y un mínimo de 5.71 N-NO₃ mg/kg de suelo como se muestra en la (**Figura 36**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 14.84 y 27.02 respectivamente (**Tabla 5**).

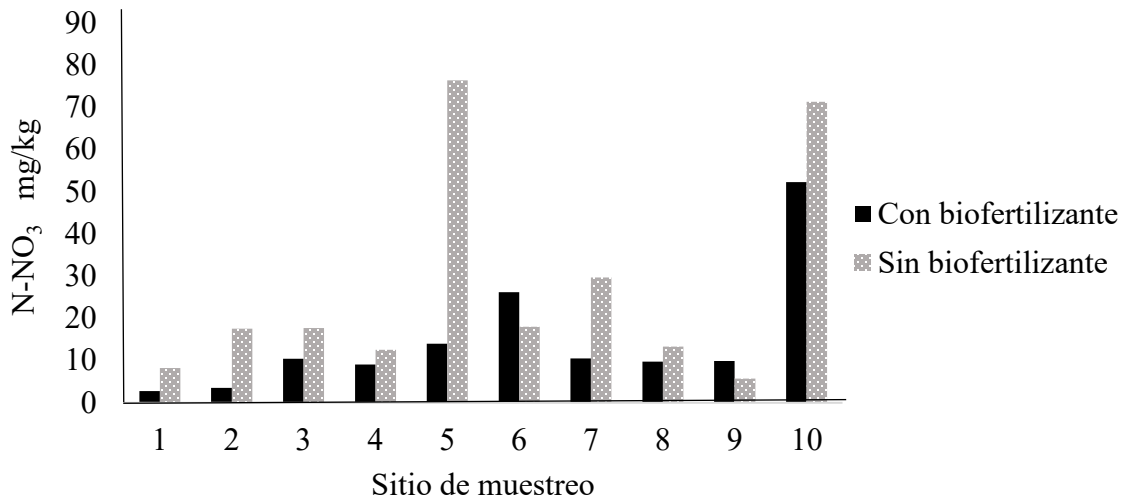


Figura 36. Valores de nitratos en el suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de nitrato (N-NO₃) del segundo muestreo fueron los siguientes: como máximos de 10.36 N-NO₃ mg/kg de suelo y mínimos de 1.01 N-NO₃ mg/kg suelo, mientras que para el grupo control fueron como máximo 16.95 N-NO₃ mg/Kg suelo de suelo y un mínimo de 3.88 N-NO₃ mg/Kg de suelo en el cultivo (**Figura 37**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que sí existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 7.74 y 3.16 correspondientemente (**Tabla 6**).

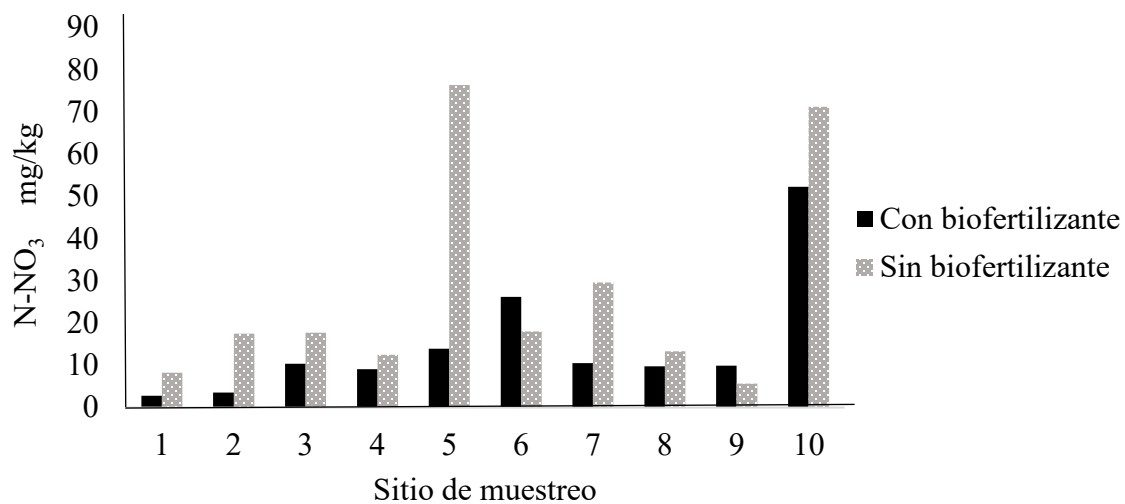


Figura 37. Valores de nitratos en el suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de nitrato (N-NO_3) para el Valle de Juárez arrojaron valores máximos de 10.77 N-NO_3 mg/kg suelo y un mínimo de 4.44 N-NO_3 mg/kg suelo con un promedio de 7.93 (**Figura 38** y **Tabla 7**).

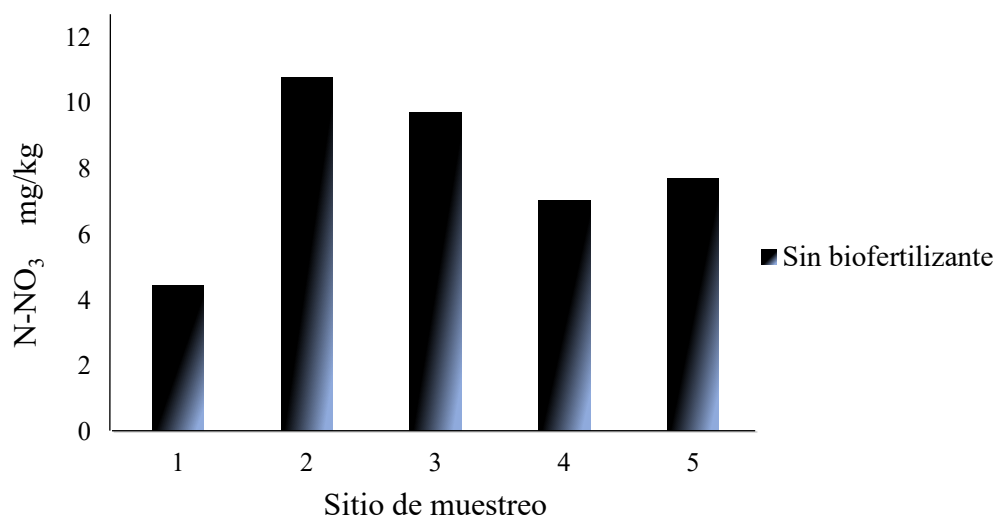


Figura 38. Valores de nitratos en suelo obtenido en las muestras del 6 noviembre de 2022 del Valle de Juárez.

Los resultados de Nitrógeno inorgánico (N) del primer muestreo fueron los siguientes: como máximos de 68.09 N mg/kg de suelo y mínimos de 14.38 N mg/kg de suelo, los cuales dentro de la clasificación según la NOM-021-RECNAT-2000 se encontraron para el grupo con tratamiento 50 % de suelo con clase Bajo, 40% con clase Medio y un 10% con clase Muy alto. Para el grupo control se obtuvo un máximo 81.87 N mg/kg de suelo y un mínimo de 17.22 N mg/kg de suelo, y se clasificó el 20% suelo con clase bajo, 50% clase Medio, 10% Alto y el 20% clase Muy alto tal y como se muestra en la (**Figura 39**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 26.36 y 38.81 respectivamente (**Tabla 5**).

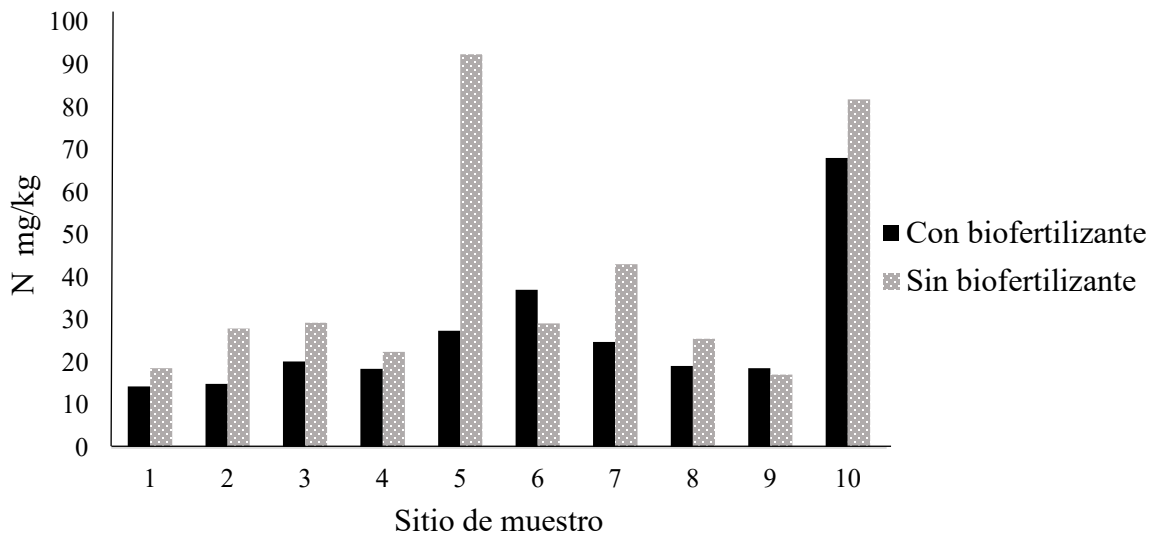


Figura 39. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido en las muestras del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de Nitrógeno inorgánico (N) del segundo muestreo fueron los siguientes: como máximos de 14.95 N mg/kg de suelo y mínimos de 2.60 N mg/Kg de suelo, con una clasificación de 90% muy bajo y un 10% bajo. Para el grupo control, fueron como máximo 24.26 N mg/Kg de suelo y un mínimo de 4.36 N mg/kg de suelo en el cultivo, con una clasificación de 10% muy bajo, 80% bajo y 10% medio (**Figura 40**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 14.08 y 6.76 respectivamente (**Tabla 6**).

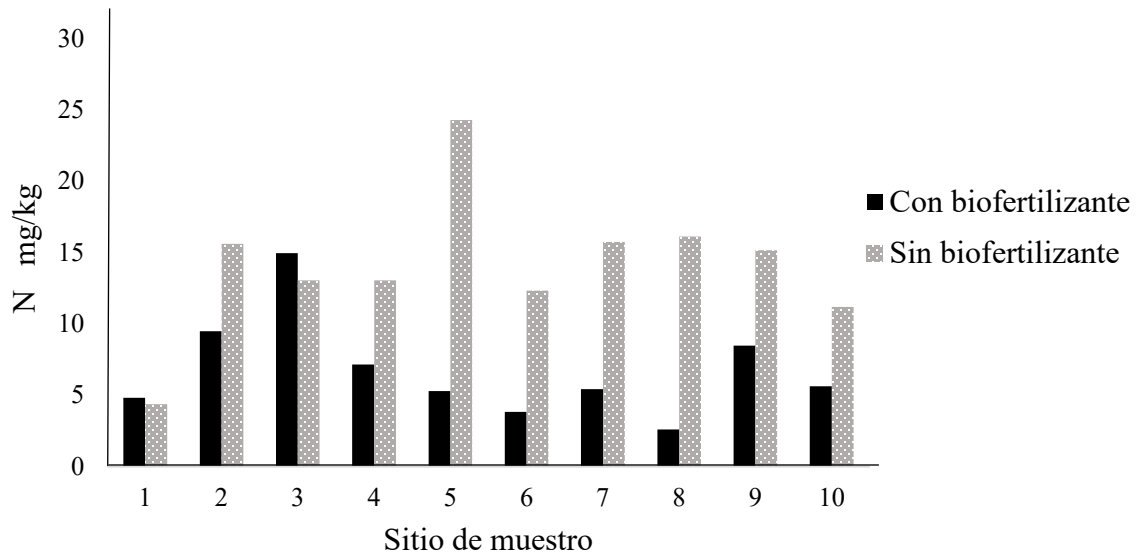


Figura 40. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido en las muestras del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de Nitrógeno inorgánico (N) para el Valle de Juárez arrojaron valores máximos de 22.46 N mg/kg y un mínimo de 15.41 N mg/kg con un promedio de 19.35 y una clasificación del 60% bajo y un 40% medio (Figura 41 y Tabla 7).

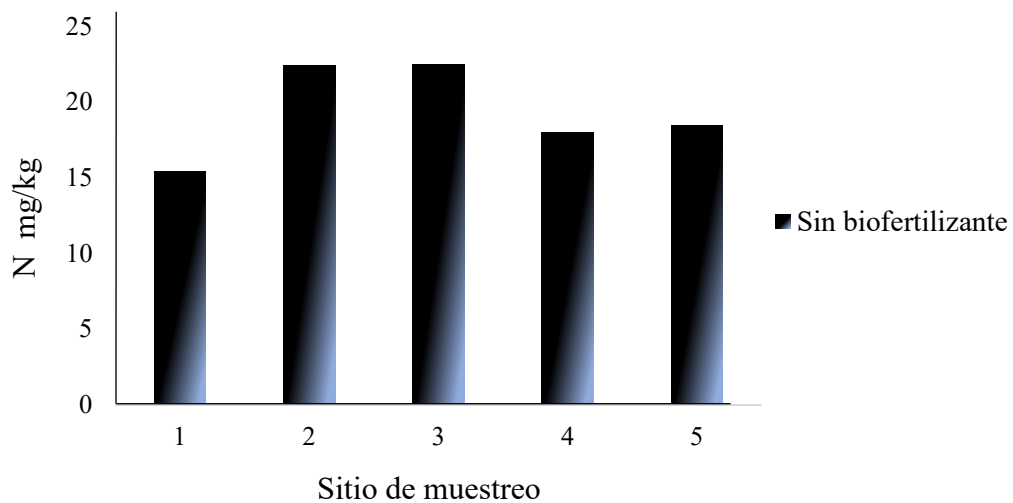


Figura 41. Valores de Nitrógeno inorgánico en suelo obtenido el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

4.1.2. Caracterización fisicoquímica del agua

(1) Análisis de pH, Conductividad eléctrica (CE), %NaCl y SDT

El resultado de pH del agua del Rancho El Regalo fue de un promedio de 8.27, lo que indica que el pH es básico. El resultado de Conductividad eléctrica del agua fue de 4.57 dS/m, 8.2% de NaCl y 2.28 g/L de Sólidos disueltos totales.

4.1.3. Caracterización del lixiviado de lombriz californiana

(1) Análisis de pH, Conductividad eléctrica (CE), %NaCl, SDT, y Nitrógeno (N-NH₄, N-NO₃ y N inorgánico)

Los resultados del pH del lixiviado producido en el Rancho El Regalo, y del cual fue tratado el cultivo de nogal obtuvo un 8.5 lo que indica que el pH es básico. Los resultados de conductividad eléctrica fueron de 8.36 dS/m, de %NaCl fue un 15.13% y 4.17 g/L de solidos disueltos totales. Por último, el análisis de amonio en el lixiviado fue de 13.54 mg N-NH₄ /L, de nitratos fue 0.84 mg N-NO₃ /L y el nitrógeno inorgánico fue de 14.38 mg N inorgánico /L.

4.2. Determinación de actividad microbiana.

4.2.1. Actividad microbiana para muestras en campo, del Rancho El Regalo.

La liberación de CO₂ en la etapa basal del experimento mostró para el primer muestreo del Rancho el Regalo en el grupo con biofertilizante (CB1) un máximo de 0.0067 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0035 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ mientras que el grupo control suelo sin biofertilizante (SB1), presentó un máximo de 0.0030 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0017 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ (**Figura 42**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 0.0044 y 0.0022 de mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ respectivamente (**Tabla 10**).

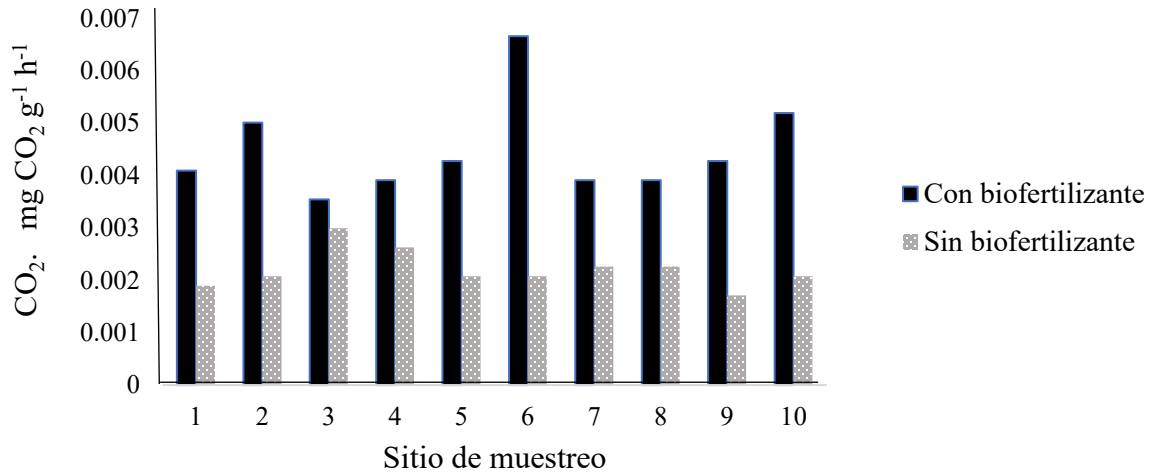


Figura 42. Valores de CO₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 10. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo, con biofertilizante (CB1) sin biofertilizante (SB1).

Parámetro	Unidades	CB1	SB1	Valor <i>p</i>
CO ₂	mg CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	0.0044 \pm 0.0009 a	0.0022 \pm 0.0003 b	0.000
RB	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹	29.32 \pm 6.02 a	14.44 \pm 2.40 b	0.000
RIS	mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	14.42 \pm 3.70 a	4.44 \pm 5.34 b	0.000
C _{mic}	mg C _{mic} kg ⁻¹	89.12 \pm 22.91 a	27.49 \pm 33.04 b	0.000
qCO ₂	mg C-CO ₂ g ⁻¹ C _{mic} h ⁻¹	0.142 \pm 0.03 a	0.447 \pm 0.57 a	0.111

CO₂= Dióxido de carbono; RB=respiración basal; RIS=respiración inducida por sustrato; C_{mic}=Carbono de biomasa microbiana; qCO₂= cociente metabólico. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney (n=10).

La liberación de CO₂ producida por las muestras del segundo monitoreo en el grupo con biofertilizante (CB2), obtuvieron un máximo de 0.0024 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0019 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, mientras que el grupo control de suelo sin biofertilizante (SB2) se obtuvo un máximo de 0.0026 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0019 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ (**Figura 43**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre

tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.00227 y 0.00222 $\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 11**).

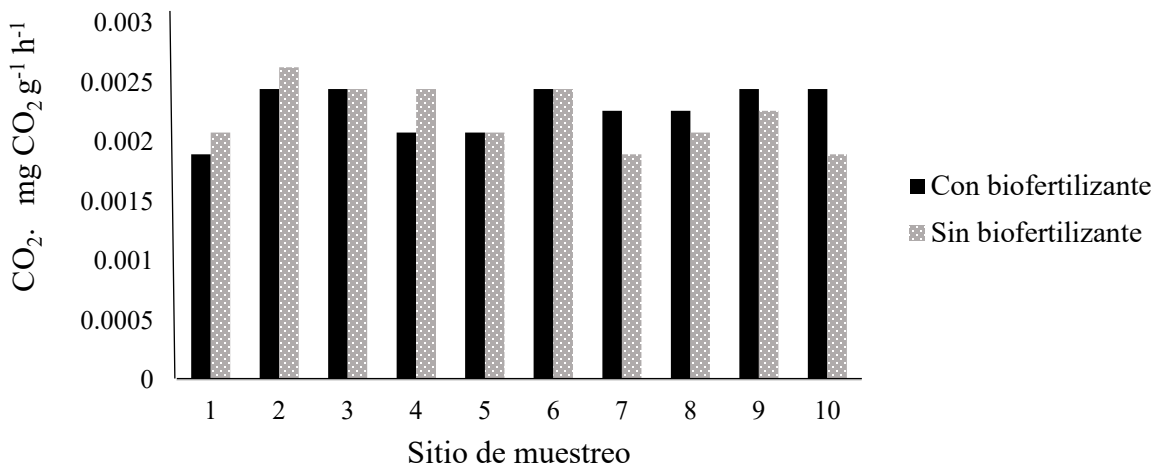


Figura 43. Valores de CO_2 después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 11. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo del segundo muestreo del 3 de diciembre del 2022 en el Rancho El Regalo, con biofertilizante (CB2) sin biofertilizante (SB2).

Parámetro	Unidad	CB2	SB2	Valor <i>p</i>
CO_2	$\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	0.0022 ± 0.00017 a	0.0022 ± 0.00023 a	0.597
RB	$\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$	14.92 ± 1.32 a	14.56 ± 1.67 a	0.600
RIS	$\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	9.02 ± 4.13 a	8.13 ± 2.901 a	0.588
C_{mic}	$\text{mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$	55.74 ± 25.55 a	50.30 ± 17.93 a	0.588
$q\text{CO}_2$	$\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$	0.132 ± 0.058 a	0.133 ± 0.044 a	0.946

CO_2 = Dióxido de carbono; RB=respiración basal; RIS=respiración inducida por sustrato; C_{mic} =Carbono de biomasa microbiana; $q\text{CO}_2$ = cociente metabólico. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney ($n=10$).

Los resultados de respiración basal (**RB**) en el tratamiento (CB1) del primer muestreo arrojaron niveles máximos de 43.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y un mínimo de 23.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹. para (SB1) los resultados máximos fueron de 19.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y mínimos de 11.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ (**Figura 44**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 29.32 y 14.44 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ respectivamente (**Tabla 10**).

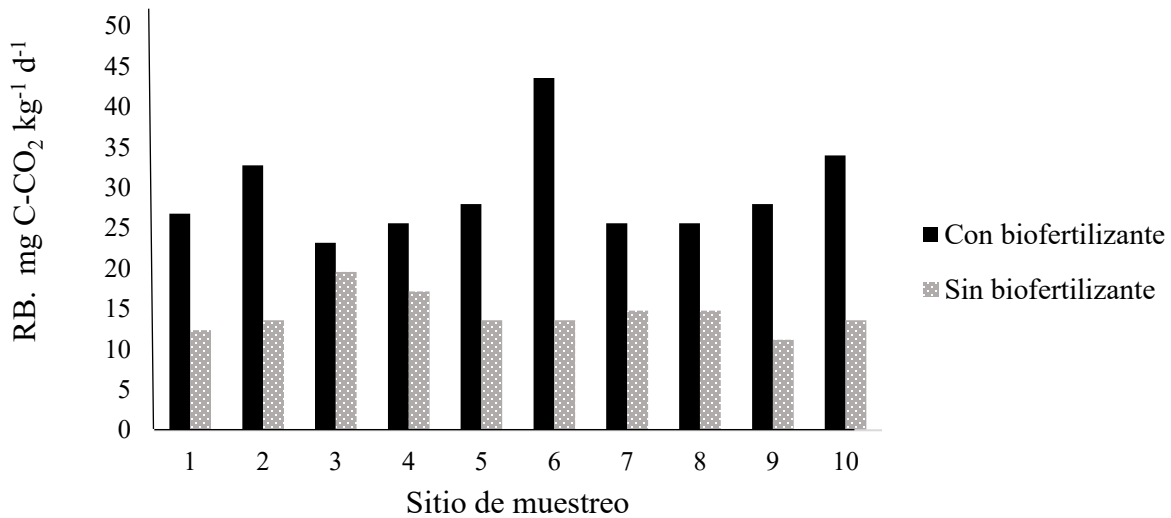


Figura 44. Respiración basal (RB) después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de respiración basal (**RB**) para (CB2) del segundo muestreo arrojaron niveles máximos de 16.0 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y un mínimo de 12.4 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, mientras que para el grupo control (SB2) los resultados máximos fueron de 17.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y mínimos de 12.4 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ (**Figura 45**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 14.92 y 14.56 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ respectivamente (**Tabla 11**).

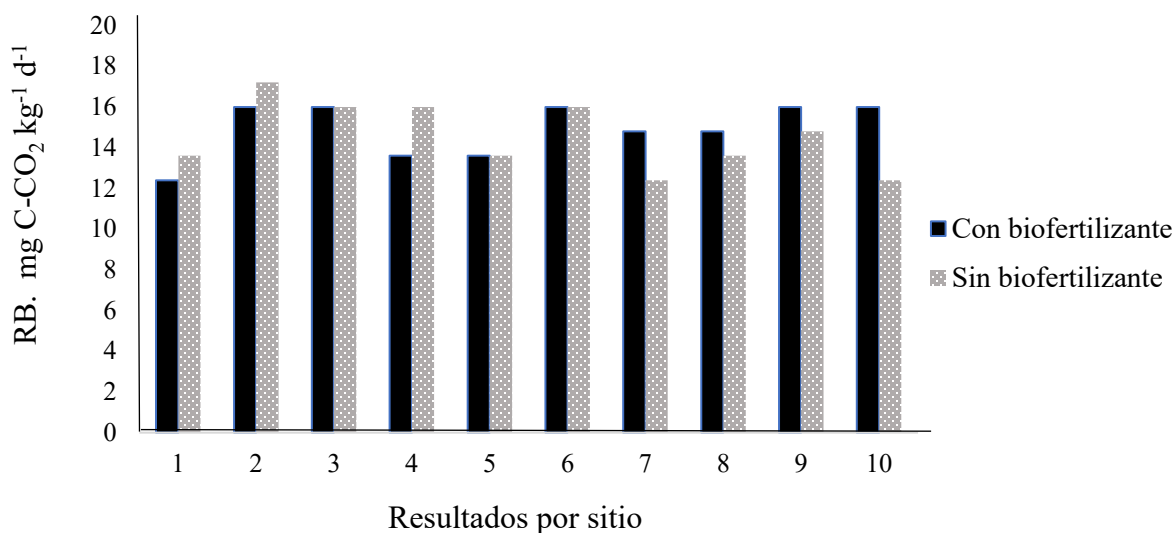


Figura 45. Valores de la respiración basal (RB) después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

4.2.2. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en campo Rancho el Regalo.

La respiración inducida por sustrato (RIS) fue la siguiente para el primer muestreo del Rancho El Regalo (CB1): se obtuvo un máximo de 22.489 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 9.289 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que para el grupo control (SB1) fue un máximo de 15.889 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (**Figura 46**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 14.42 y 4.44 CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (**Tabla 10**).

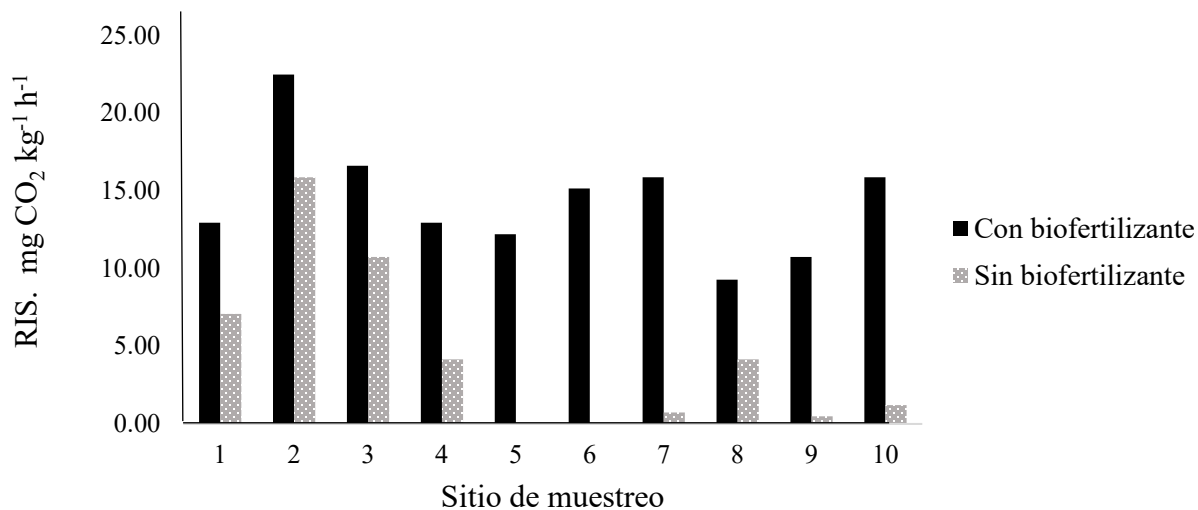


Figura 46. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

La respiración inducida por sustrato (**RIS**) para el segundo muestreo del Rancho El Regalo fue la siguiente: grupo con fertilizante (CB2) un máximo de 16.867 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 3.667 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que para el grupo control (SB2) fue un máximo de 13.933 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 5.133 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (**Figura 47**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 9.02 y 8.13 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (**Tabla 11**).

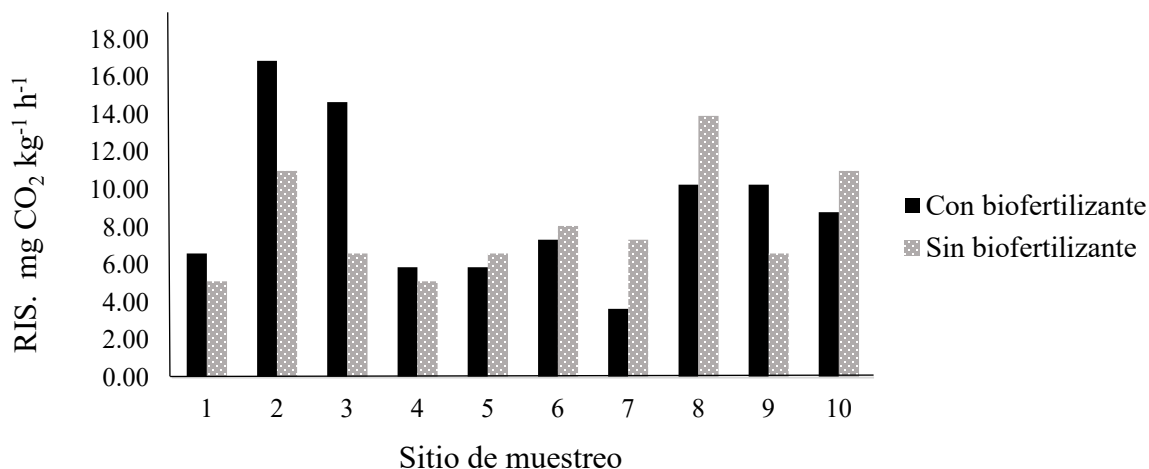


Figura 47. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de actividad microbiana inducida por sustrato (C_{mic}) para el grupo (CB1) del primer muestreo, arrojó niveles máximos de $138.981 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $57.405 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB1), los resultados máximos fueron de $98.193 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos de $0 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 48**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 89.12 y $27.49 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 10**).

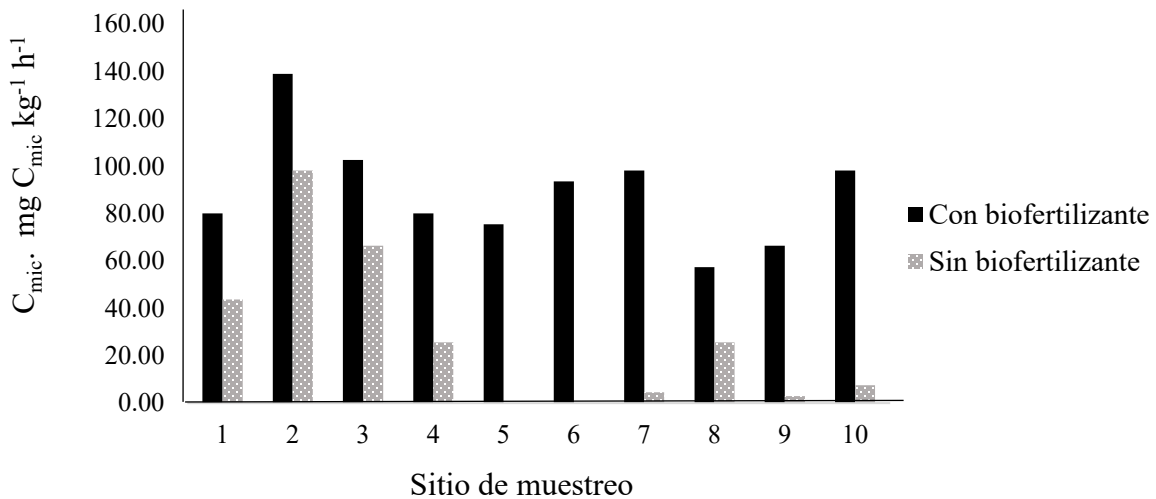


Figura 48. Carbono de biomasa microbiana C_{mic} de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de actividad microbiana inducida por sustrato (C_{mic}) para el grupo (CB2) del segundo muestreo, arrojó niveles máximos de $104.236 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $22.660 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB2), los resultados máximos fueron de $86.108 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos de $31.724 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 49**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 55.74 y $50.30 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 11**).

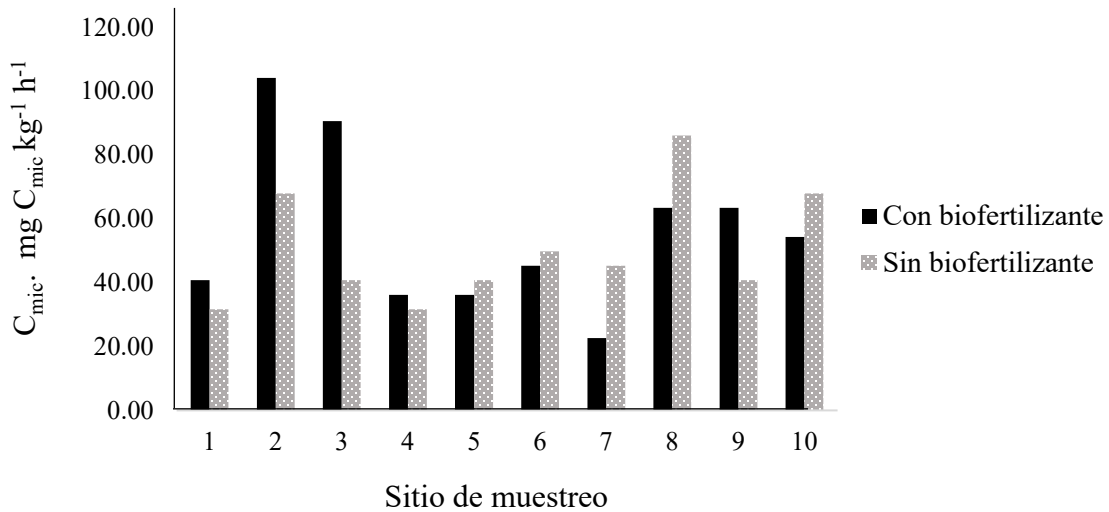


Figura 49. Carbono de biomasa microbiana C_{mic} de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Al obtener los datos necesarios de los procesos anteriores, se sacó el cociente metabólico (qCO_2) que para el grupo con biofertilizante (CB1) del primer muestreo fue el siguiente: el resultado se obtuvo con un máximo de $0.194 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.094 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB1) el máximo fue de $1.545 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 50**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.142 y $0.447 \text{ C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 10**).

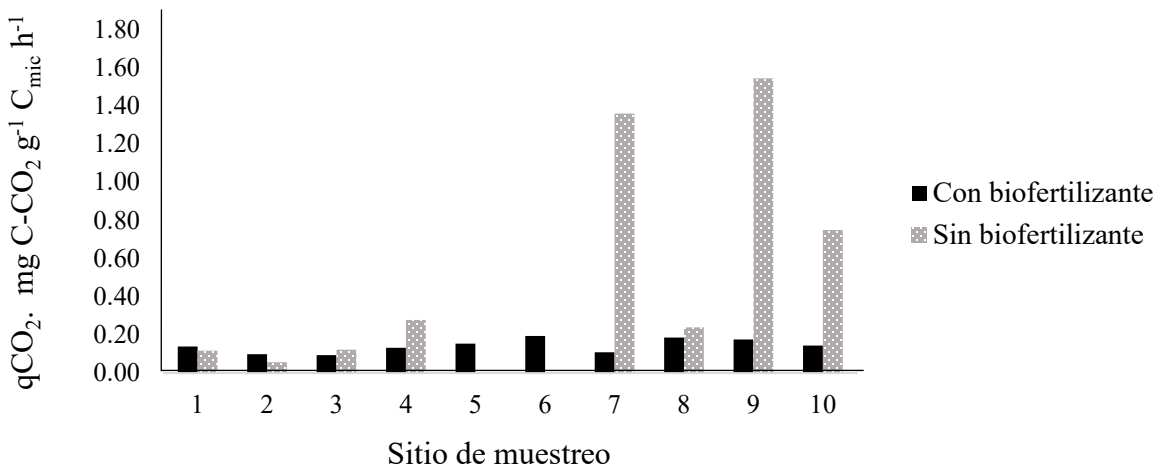


Figura 50. Cociente metabólico qCO_2 obtenido de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Al obtener los datos necesarios de los procesos anteriores, se sacó el cociente metabólico (qCO_2) que para el grupo con biofertilizante (CB2) fue el siguiente: con un máximo de $0.272 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.064 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$, mientras que para el grupo control (SB2), el máximo fue de $0.210 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.066 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 51**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.132 y $0.133 \text{ C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 11**).

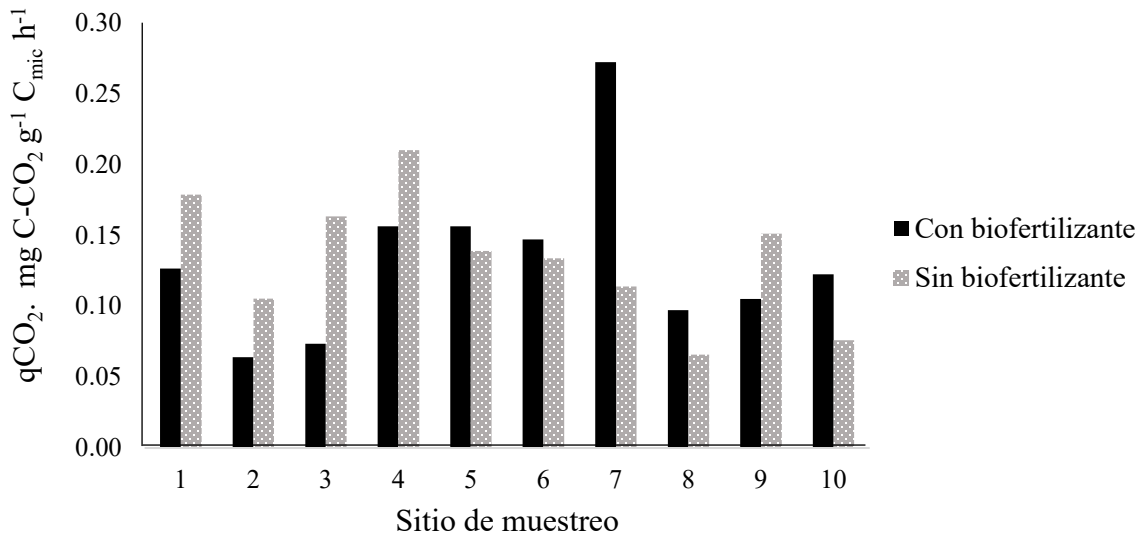


Figura 51. Cociente metabólico (qCO_2) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

4.2.3. Determinación de actividad microbiana, para tratamientos en laboratorio

La liberación de CO_2 en la etapa basal del experimento de adición de lixiviados a los controles del primer muestreo del Rancho el Regalo, (SB 1x) mostró un máximo de $0.0031 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.0018 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ mientras que el grupo control suelo sin biofertilizante (SB1 s), presentó un máximo de $0.0030 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.0017 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 52**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.0024 y $0.0022 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 12**).

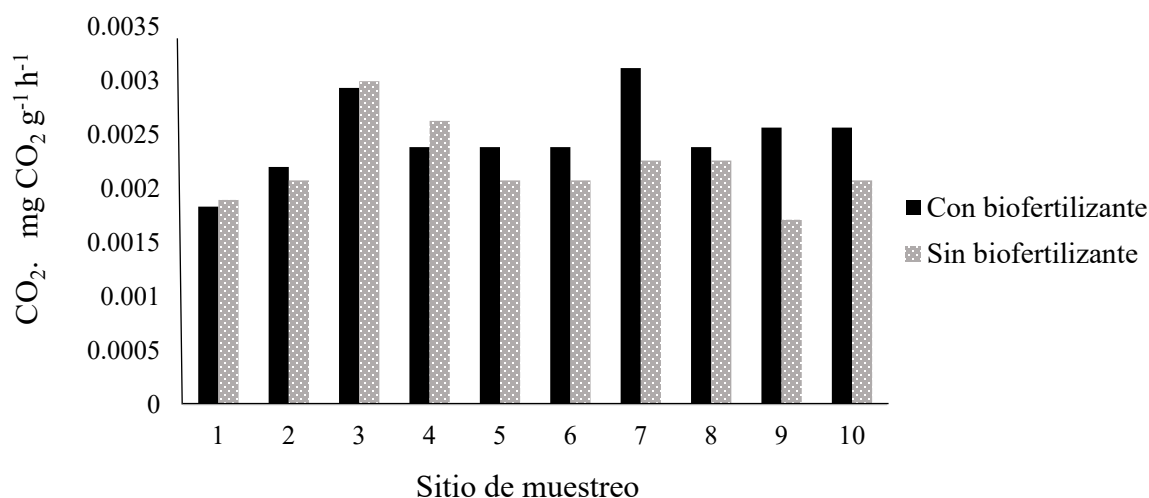


Figura 52. Valores de CO₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 12. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo tratado con lixiviado en el laboratorio, control con lixiviado (SB1 lx) y control sin biofertilizante (SB1 s).

Parámetro	Unidades	SB1 lx	SB1 s	Valor <i>p</i>
CO ₂	mg CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	0.0024 \pm 0.00035 a	0.0022 \pm 0.00036 a	0.125
RB	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹	16.20 \pm 2.34 a	14.44 \pm 2.40 a	0.115
RIS	mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	4.76 \pm 3.05 a	4.44 \pm 5.34 a	0.872
C _{mic}	mg C _{mic} kg ⁻¹	29.45 \pm 18.89 a	27.49 \pm 33.04 a	0.872
qCO ₂	mg C-CO ₂ g ⁻¹ C _{mic} h ⁻¹	0.35 \pm 0.35 a	0.44 \pm 0.57 a	0.659

CO₂= Dióxido de carbono; RB=respiración basal; RIS=respiración inducida por sustrato; C_{mic}=Carbono de biomasa microbiana; qCO₂= cociente metabólico. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney (n=10).

El CO₂ obtenido de las muestras de controles del segundo muestreo sometidas al lixiviado son las siguientes, (SB2 lx) con un máximo de 0.0028 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0023 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, mientras que el grupo control suelo sin biofertilizante (SB2 s) obtuvo un máximo de 0.0037 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.0012 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹. (**Figura 53**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre

tratamientos ($p < 0.05$), los cuales dieron un rango promedio de 0.0025 y $0.0023 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 13**).

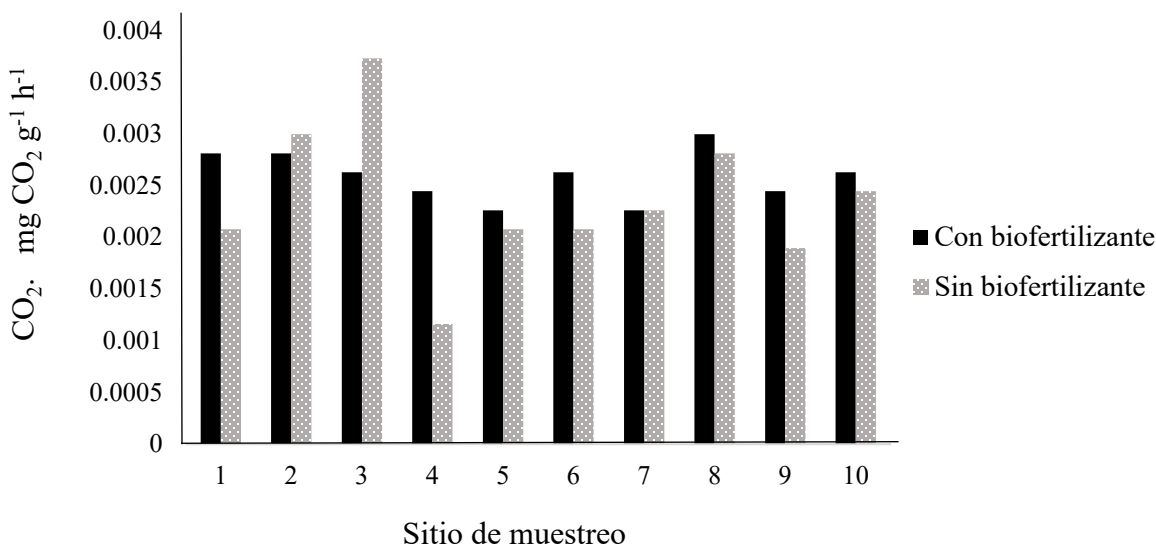


Figura 53. Valores de CO₂ después de la incubación con trampas alcalinas, grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Tabla 13. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo tratado con lixiviado en el laboratorio, control con lixiviado (SB2 lx) y control sin biofertilizante (SB2 s).

Parámetro	Unidades	SB2 lx	SB2 s	Valor <i>p</i>
CO ₂	mg CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	0.0025 ± 0.00023 a	0.0023 ± 0.00068 a	0.346
RB	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹	16.96 ± 1.57 a	15.40 ± 4.56 a	0.321
RIS	mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	3.48 ± 2.43 a	4.47 ± 3.49 a	0.472
C _{mic}	mg C _{mic} kg ⁻¹	21.52 ± 15.07 a	27.64 ± 21.62 a	0.472
qCO ₂	mg C-CO ₂ g ⁻¹ C _{mic} h ⁻¹	0.48 ± 0.35 a	0.33 ± 0.19 a	0.262

CO₂= Dióxido de carbono; RB=respiración basal; RIS=respiración inducida por sustrato; C_{mic}=Carbono de biomasa microbiana; qCO₂= cociente metabólico. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney (n=10).

El CO_2 obtenido de las muestras de controles del Valle de Juárez sometidas al lixiviado son las siguientes, (VJ lx) con un máximo de $0.0024 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.0018 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, mientras que el grupo control suelo sin biofertilizante (VJ s) obtuvo un máximo de $0.0020 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.0013 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 54**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 0.002 y $0.0015 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 14**).

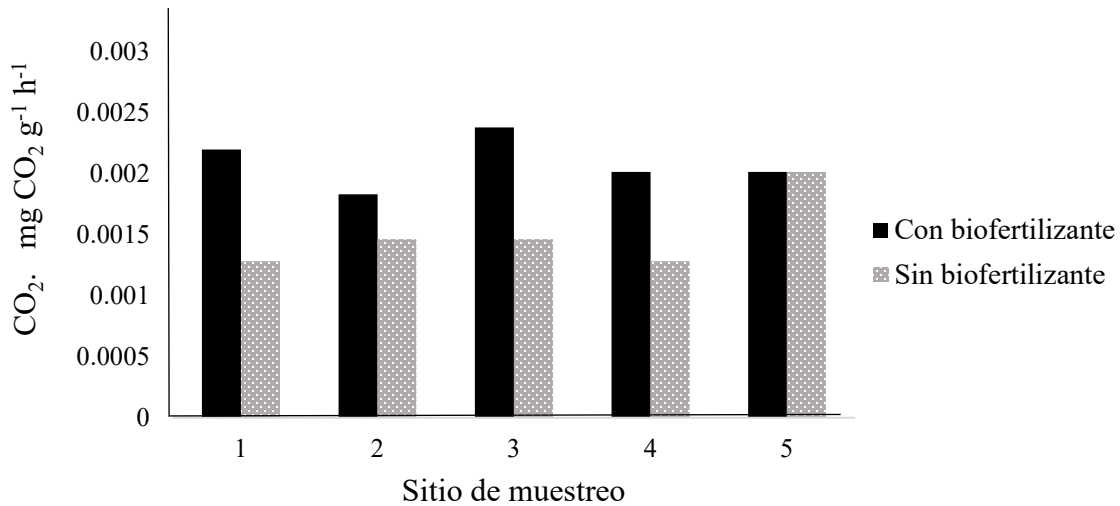


Figura 54. Valores de CO_2 después de la incubación con trampas alcalinas de muestras con y sin biofertilizante colectadas el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

Tabla 14. Valores medios (\pm desviación estándar) de los parámetros ecofisiológicos evaluados del suelo tratado con lixiviado en el laboratorio del muestreo del 6 de noviembre del 2022 en el VALLE tratado con lixiviado en el laboratorio (VJ lx) y control sin biofertilizante (VJ s).

Parámetro	Unidades	VJ lx	VJ s	Valor <i>p</i>
CO_2	$\text{mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	0.002 ± 0.00022 a	0.0015 ± 0.00028 b	0.009
RB	$\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$	13.68 ± 1.36 a	9.84 ± 1.97 b	0.007
RIS	$\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	14.52 ± 5.76 a	14.37 ± 5.78 a	0.969
C_{mic}	$\text{mg } C_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$	89.73 ± 35.59 a	88.82 ± 35.77 a	0.969
$q\text{CO}_2$	$\text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$	0.053 ± 0.0269 a	0.054 ± 0.0263 a	0.963

CO_2 = Dióxido de carbono; RB=respiración basal; RIS=respiración inducida por sustrato; C_{mic} =Carbono de biomasa microbiana; $q\text{CO}_2$ = cociente metabólico. Nota: Letras distintas en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), Técnica estadística U de Man-Whitney ($n=5$).

Los resultados de respiración basal (**RB**) en el tratamiento (SB1 lx) del primer muestreo del Rancho El Regalo arrojaron niveles máximos de 20.04 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y un mínimo de 12.0 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹. Por otro lado, para (SB1 s) los resultados máximos fueron de 19.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y mínimos de 11.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ (**Figura 55**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos (p<0.05), los cuales mostraron un rango promedio de 16.20 y 14.44 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ respectivamente (**Tabla 12**).

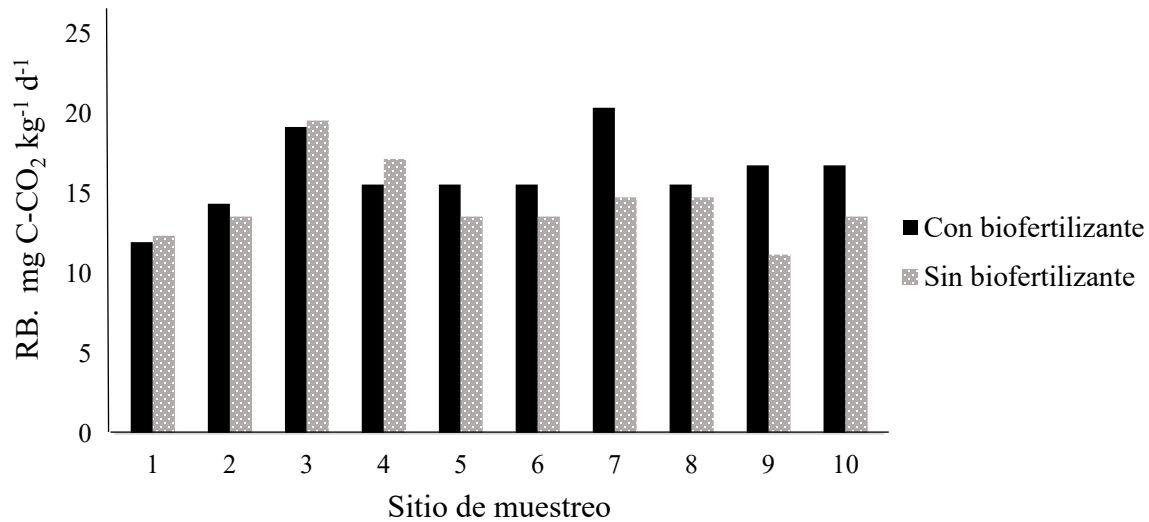


Figura 55. Respiración basal (RB) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de respiración basal (**RB**) para el segundo muestreo (SB2 lx) arrojó niveles máximos de 19.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y un mínimo de 14.8 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹. Para el grupo control (SB2 s) los resultados máximos fueron de 24.4 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y mínimos de 7.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ (**Figura 56**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos (p<0.05), los cuales mostraron un rango promedio de 16.96 y 15.40 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ respectivamente (**Tabla 13**).

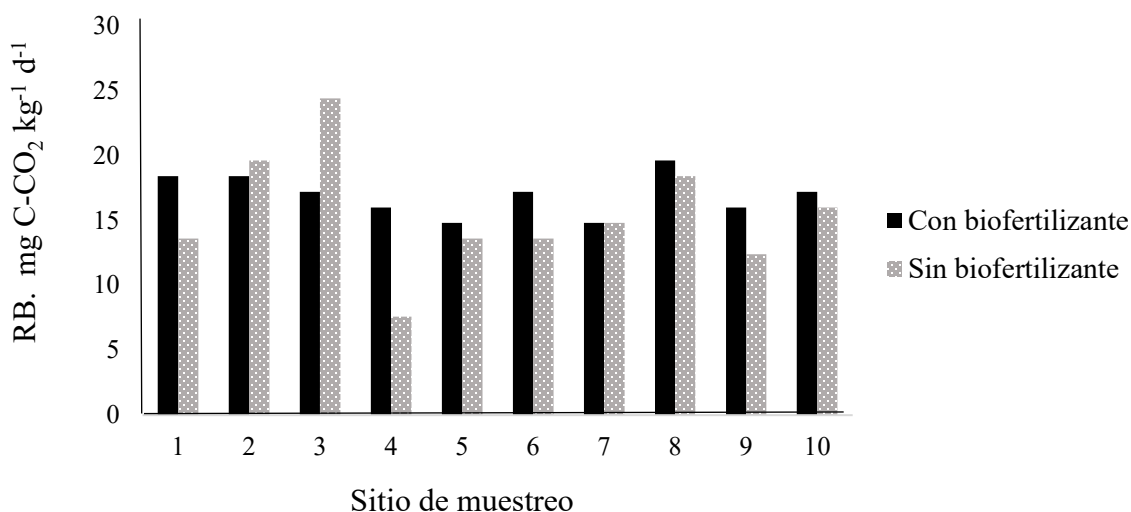


Figura 56. Respiración basal (RB) en los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 en el Rancho El Regalo.

Los resultados de respiración basal (**RB**) para (VJ lx) arrojó niveles máximos de 15.6 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y un mínimo de 12.0 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹. para el grupo control (VJ s) los resultados máximos fueron de 13.2 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ y mínimos de 8.4 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ (**Figura 57**). El análisis estadístico comparativo entre los dos tratamientos muestra que si existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), siendo mayor en el grupo con biofertilizante que en el grupo control, los cuales mostraron un rango promedio de 13.68 y 9.84 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ respectivamente (**Tabla 14**).

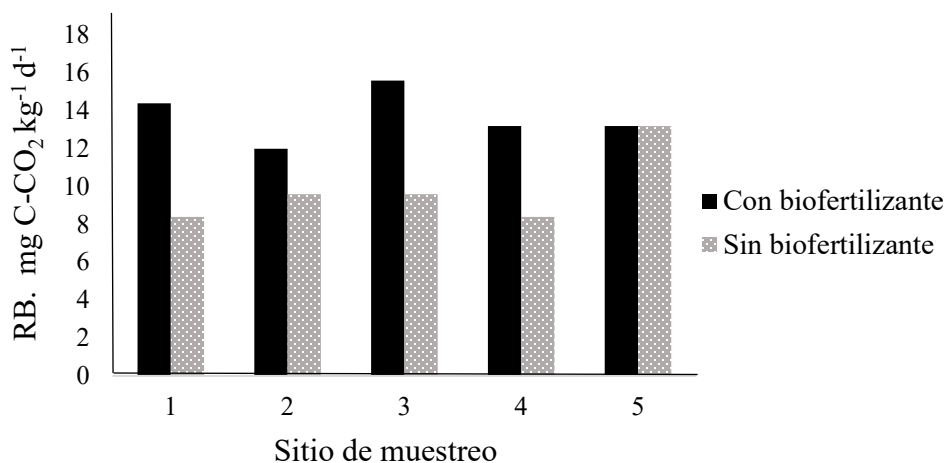


Figura 57. Respiración basal (RB) en muestras de suelo colectado el 6 de noviembre de 2022 en el Valle de Juárez.

4.2.4. Respiración inducida por sustrato para tratamientos en laboratorio.

La respiración inducida por sustrato (**RIS**) para el tratamiento del primer muestreo control con lixiviado (SB1 lx) un máximo de 11.00 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.733 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que para el grupo control (SB s) fue un máximo de 15.889 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (**Figura 58**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 4.76 y 4.44 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (**Tabla 12**).

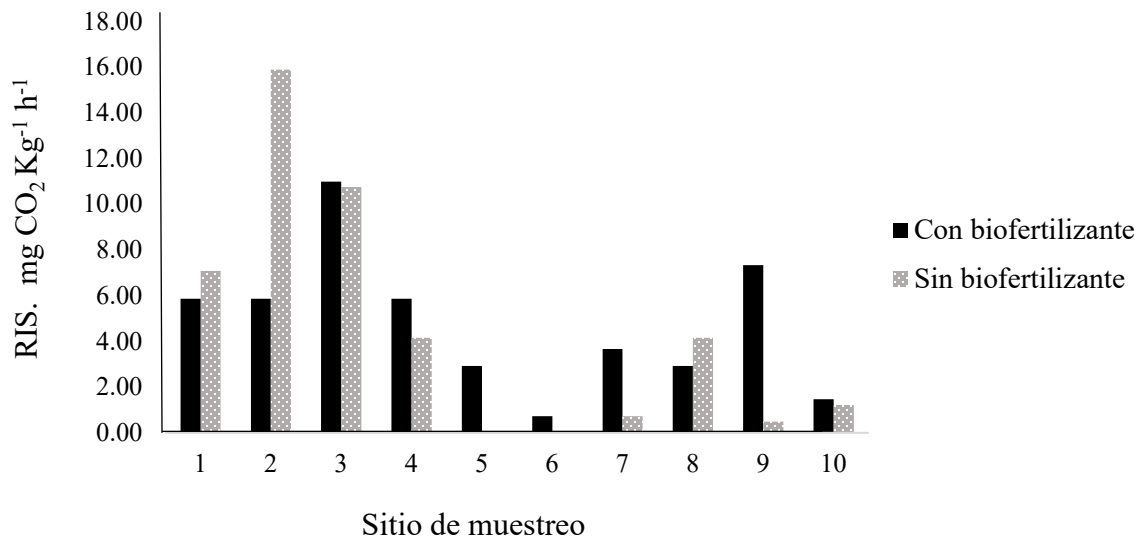


Figura 58. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante del primer muestreo 5 de agosto de 2022 en el Rancho El Regalo.

La respiración inducida por sustrato (**RIS**) para el tratamiento del segundo muestreo control con lixiviado (SB2 lx) obtuvo un máximo de 8.800 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 0.733 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que para el grupo control (SB2 s) fue un máximo de 11.733 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 1.467 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (**Figura 59**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 3.48 y 4.47 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (**Tabla 13**).

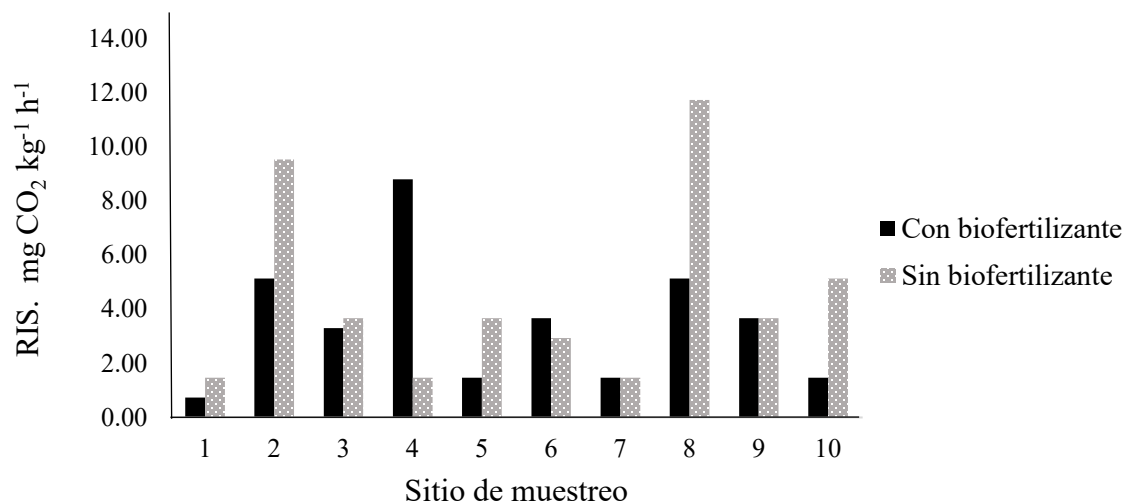


Figura 59. Respiración inducida por sustrato (RIS) en grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

La respiración inducida por sustrato (RIS) para el tratamiento de Valle de Juárez con lixiviado (VJ lx) un máximo de 21.267 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 5.867 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, mientras que para el grupo control (VJ s) fue un máximo de 20.533 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y un mínimo de 5.867 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Figura 60). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 14.52 y 14.37 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente (Tabla 14).

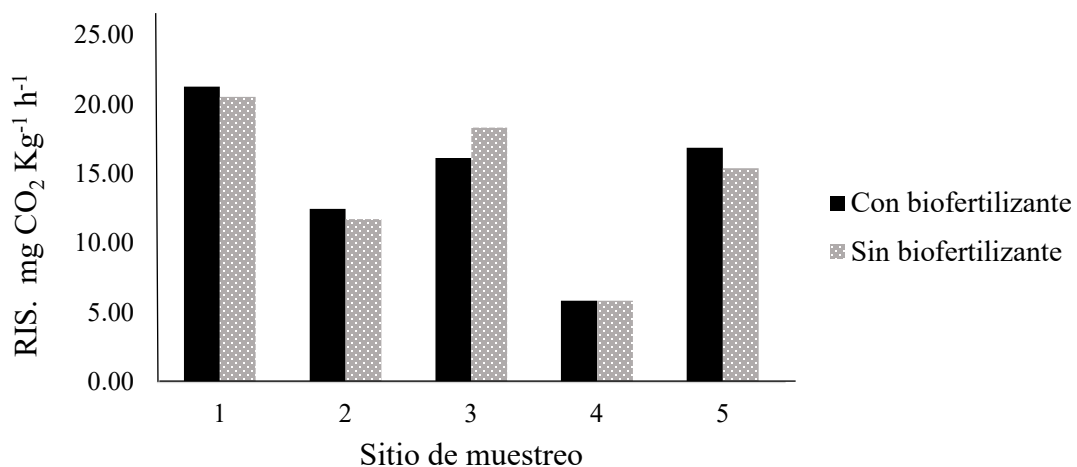


Figura 60. Respiración inducida por sustrato (RIS) en suelo del Valle de Juárez obtenido el 6 de noviembre de 2022.

Los resultados de actividad microbiana inducida por sustrato (C_{mic}) para el grupo (SB1 lx) del primer muestreo, arrojó niveles máximos de $67.98 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $4.532 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB1 s), los resultados máximos fueron de $98.193 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos de $0 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 61**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 29.45 y $18.89 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 12**).

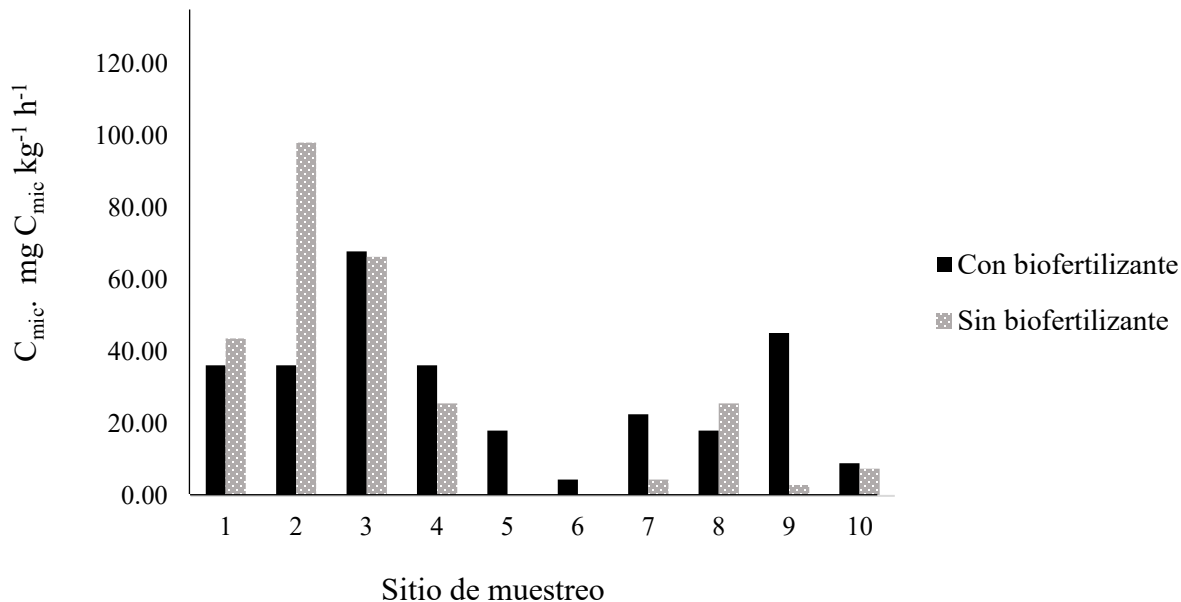


Figura 61. Carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de actividad microbiana inducida por sustrato (C_{mic}) para el grupo (SB2 lx) del segundo muestreo, arrojó niveles máximos de $54.384 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $4.532 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB2 s), los resultados máximos fueron de $72.512 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos de $9.064 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 62**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 21.52 y $27.64 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 13**).

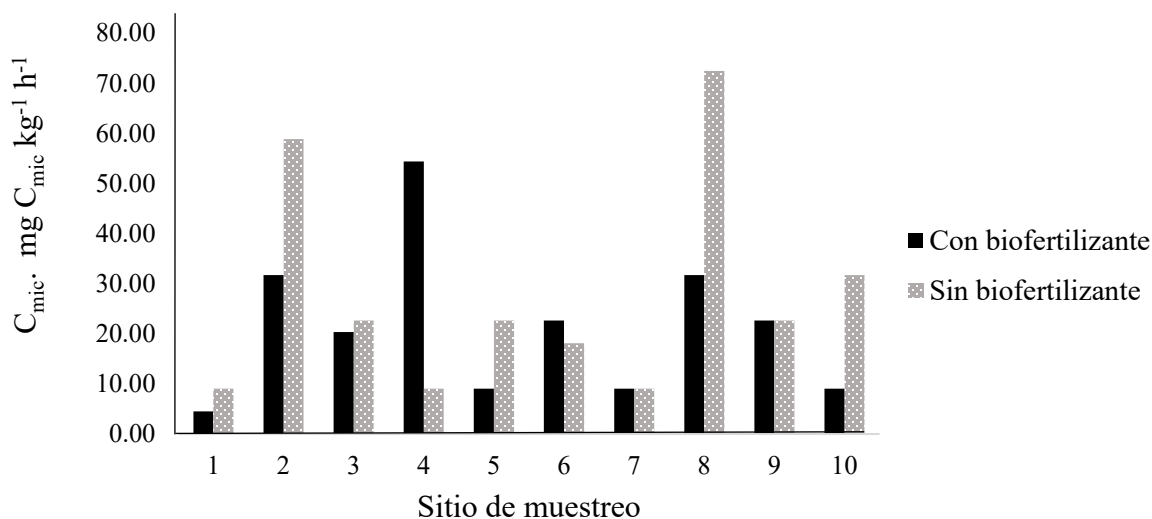


Figura 62. Carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) de grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Los resultados de actividad microbiana inducida por sustrato (C_{mic}) para el grupo (VJ lx), arrojó niveles máximos de $131.428 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $36.256 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (VJ s), los resultados máximos fueron de $126.896 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y mínimos de $36.256 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 63**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 89.73 y $88.82 \text{ mg } C_{mic} \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 14**).

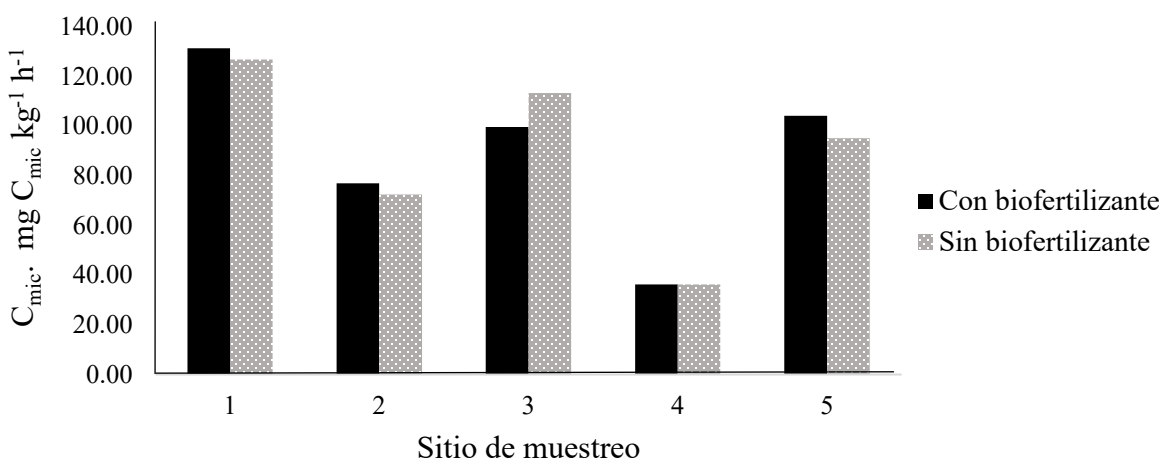


Figura 63. Carbono de biomasa microbiana (C_{mic}) de suelo de Valle de Juárez colectado el 6 de noviembre de 2022.

Al obtener los datos necesarios de los procesos anteriores, se sacó el cociente metabólico (qCO_2) que para el grupo con biofertilizante del primer muestreo (SB1 lx) fue el siguiente: con un máximo de $1.250 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.103 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (SB1 s) el máximo fue de $1.545 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$. (**Figura 64**). El análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.35 y $0.44 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 12**).

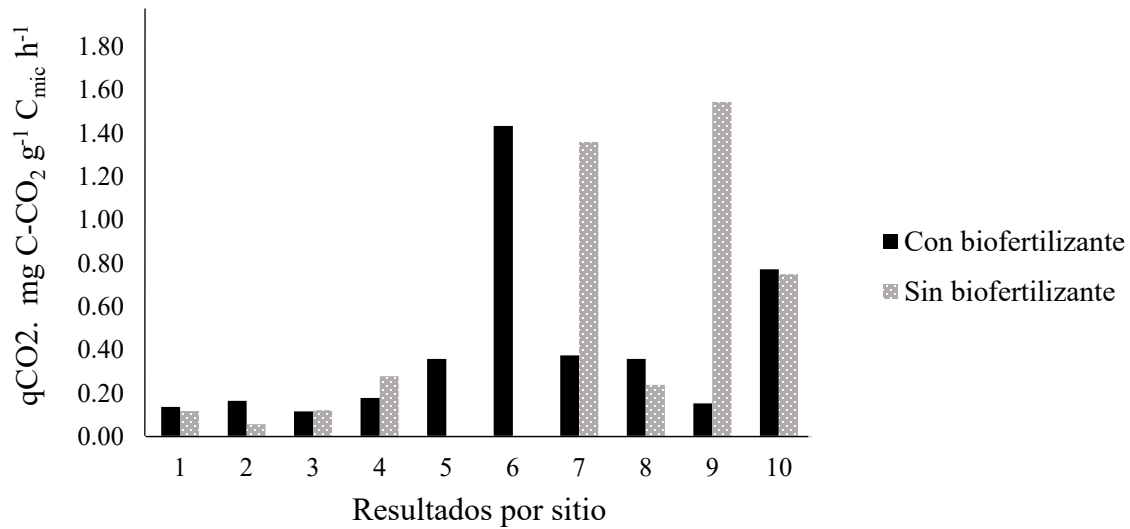


Figura 64. Valores del cociente metabólico (qCO_2) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del primer muestreo del 5 de agosto de 2022 del Rancho El Regalo.

Al obtener los datos necesarios de los procesos anteriores, se sacó el cociente metabólico (qCO_2) que para el grupo con fertilizante (SB2 lx) fue el siguiente, con un máximo de $1.250 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.058 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 65**). Para el grupo control (SB2 s) el máximo fue de $0.680 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.106 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$. Por consecuencia, el análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.48 y $0.33 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} C_{mic} \text{ h}^{-1}$ respectivamente (**Tabla 13**).

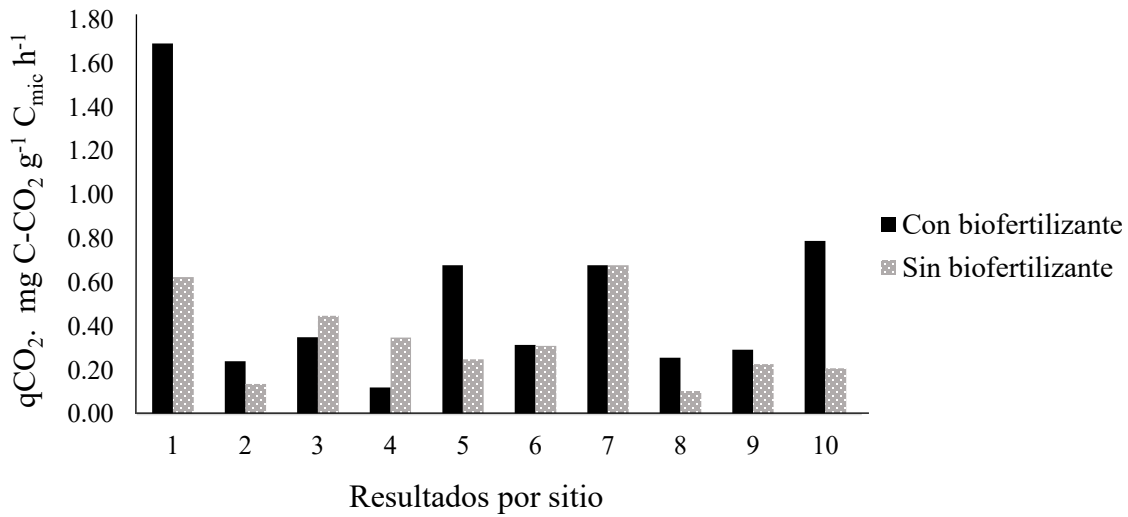


Figura 65. Valores del cociente metabólico (qCO_2) obtenidos de los grupos con biofertilizante y sin biofertilizante obtenidos del segundo muestreo del 3 de diciembre de 2022 del Rancho El Regalo.

Al obtener los datos necesarios de los procesos anteriores, se sacó el cociente metabólico (qCO_2) que para el grupo con fertilizante (VJ lx) fue el siguiente, con un máximo de $0.097 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.027 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control (VJ s) el máximo fue de $0.097 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ y un mínimo de $0.028 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ (**Figura 66**). Por consecuencia, el análisis estadístico comparativo entre los tratamientos muestra que no existen diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), los cuales mostraron un rango promedio de 0.053 y $0.054 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{mic} \text{ h}^{-1}$ (**Tabla 14**).

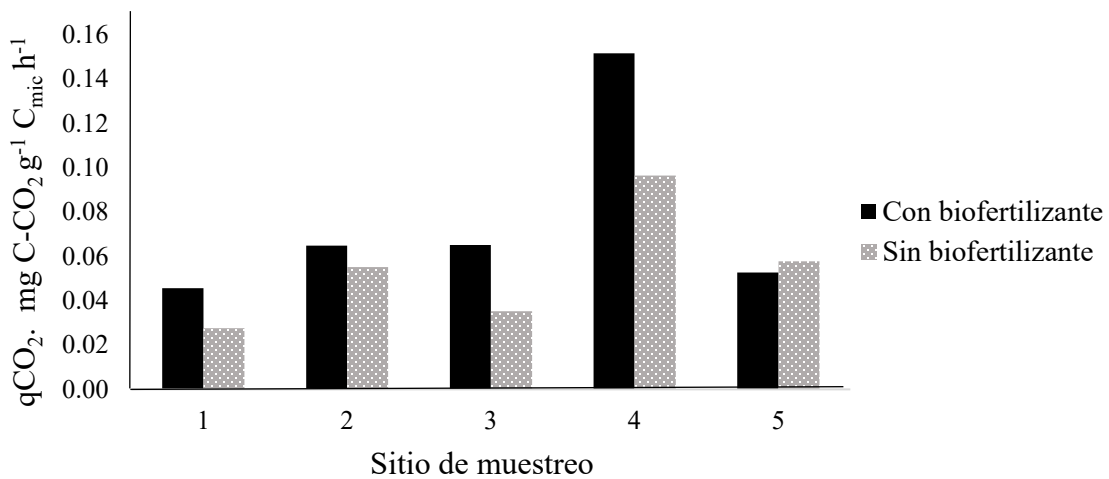


Figura 66. Valores del cociente metabólico (qCO_2) obtenidos de suelo del Valle de Juárez el 6 de noviembre de 2022.

En conjunto los resultados fisicoquímicos y microbiológicos del tratamiento con biofertilizante del suelo del primer muestreo del Rancho El Regalo fueron: un porcentaje de humedad promedio de 29.2%, una capacidad de retención de agua de 58.6%, una textura predominantemente Franco arenosa, un pH de 8.56 clasificado como fuertemente alcalino, una conductividad eléctrica de 5.21 dS m⁻¹ clasificado como suelo salino, un porcentaje de 1.88% de NaCl, 522.65 ppm de sólidos disueltos totales, 11.52 mg/kg de amonio, 14.83 mg/kg de nitratos, 26.36 mg/kg de nitrógeno inorgánico es clasificado como nivel medio. Los parámetros ecofisiológicos evaluados resultaron en CO₂ con valor promedio de 0.0044 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, una respiración basal de 29.32 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de 14.42 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de 89.12 mg C_{mic} kg⁻¹ y un cociente metabólico de 0.142 mg C-CO₂ g⁻¹ C_{mic} h⁻¹. Mientras el grupo control resultó con valores de humedad promedio de 7.15%, una capacidad de retención de agua de 53.50%, una textura predominantemente Franco arenosa, un pH de 8.47 clasificado como medianamente alcalino, una conductividad eléctrica de 6.81 dS m⁻¹, clasificado como suelo salino, un porcentaje de 2.46 de NaCl, 676.40 ppm de sólidos disueltos totales, 11.79 mg/kg de amonio, 27.02 mg/kg de nitratos, 38.81 mg/kg de nitrógeno inorgánico que es clasificado como nivel medio. Los parámetros ecofisiológicos evaluados resultaron en CO₂ con valor promedio de 0.0022 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, una respiración basal de 14.44 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de 4.44 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de 27.49 mg C_{mic} kg⁻¹ y un cociente metabólico de 0.447 mg C-CO₂ g⁻¹ C_{mic} h⁻¹.

El Tratamiento con biofertilizante del suelo del segundo muestreo del Rancho El Regalo resultó con una porcentaje de humedad promedio de 17.71%, una capacidad de retención de agua de 55.6%, una textura predominantemente Franco arenosa, un pH de 8.67 clasificado como fuertemente alcalino, una conductividad eléctrica de 3.16 dS m⁻¹ clasificado como suelo moderadamente salino, un porcentaje de 1.15% de NaCl, 316.90 ppm de sólidos disueltos totales, 3.60 mg/kg de amonio, 3.16 mg/kg de nitratos, y el nitrógeno inorgánico que obtuvo un valor de 6.76 mg/kg clasificado como nivel muy bajo. Los parámetros ecofisiológicos evaluados resultaron en CO₂ con valor promedio de 0.0022 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, una respiración basal de 14.92 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de 9.02 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de 55.74 mg C_{mic} kg⁻¹ y un cociente metabólico de 0.132 mg C-CO₂ g⁻¹ C_{mic} h⁻¹. Mientras el grupo control resultó con valores de humedad promedio de 13%, una capacidad de retención de agua de 54.80%, una textura predominantemente Franco arenosa, un pH de 8.5 clasificado como medianamente alcalino, una conductividad eléctrica de 5.59 dS m⁻¹ clasificado como suelo salino, un porcentaje de 2.02% de NaCl, 559.95 ppm de sólidos disueltos totales, 6.33 mg/kg de amonio, 7.74 mg/kg de nitratos y el nitrógeno inorgánico que dio valor de 14.08 mg/kg clasificado como nivel bajo. Los parámetros ecofisiológicos evaluados resultaron en CO₂ con valor promedio de 0.0022 mg CO₂ g⁻¹ h⁻¹, una respiración basal de 14.56 mg C-CO₂ kg⁻¹ d⁻¹, la respiración inducida por sustrato tuvo valor

promedio de $8.13 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $50.30 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.133 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$.

Los controles de los dos muestreos agosto-diciembre del Rancho El Regalo sometidos a lixiviado, dieron como resultado los parámetros ecofisiológicos siguientes, para el primer muestreo expuesto al lixiviado un CO_2 con valor promedio de $0.0024 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, una respiración basal de $16.20 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $4.76 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $29.45 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.35 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control fue un CO_2 de $0.0022 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ una respiración basal de $14.44 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $4.44 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $27.49 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.44 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$.

El segundo muestreo expuesto al lixiviado resultó en un CO_2 con valor promedio de $0.0025 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, una respiración basal de $16.96 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $3.48 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $21.52 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.48 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$. Para el grupo control fue un CO_2 de $0.0023 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ una respiración basal de $15.40 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $4.47 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $27.64 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.33 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$.

El Tratamiento sin biofertilizante del suelo de San Isidro localidad de Valle de Juárez resultó con un porcentaje de humedad promedio de 18.55% , una capacidad de retención de agua de $\%$, una textura predominantemente Franca, un pH de 8.78 clasificado como fuertemente alcalino, una conductividad eléctrica de 1.31 dS m^{-1} clasificado como muy ligeramente salino, un porcentaje de 0.48% de NaCl, 131.9 ppm de sólidos disueltos totales, 11.41 mg/kg de amonio, 7.93 mg/kg de nitratos y el nitrógeno inorgánico que obtuvo un valor de 19.35 mg/kg clasificado como nivel bajo. Los parámetros ecofisiológicos evaluados resultaron en un CO_2 con valor promedio de $0.0015 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, una respiración basal de $9.84 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $14.37 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $88.82 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.054 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$. Mientras el suelo expuesto al lixiviado resultó con parámetros ecofisiológicos de CO_2 con valor promedio de $0.002 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, una respiración basal de $13.68 \text{ mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, la respiración inducida por sustrato tuvo valor promedio de $14.52 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, el carbono de biomasa microbiana obtuvo valores promedio de $89.73 \text{ mg C}_{\text{mic}} \text{ kg}^{-1}$ y un cociente metabólico de $0.053 \text{ mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ C}_{\text{mic}} \text{ h}^{-1}$.

En cuestión de porcentaje de humedad, las muestras del Rancho El Regalo obtuvieron resultados significativos que denotan que hubo más porcentaje de humedad en los grupos con tratamiento con biofertilizante, tanto en el primer y el segundo muestreo que en el grupo control. Esto se debe

a que hay un riego sistematizado en el grupo con tratamiento y el grupo control solo obtiene agua de la lluvia; sin embargo, en el mes de diciembre fecha del segundo muestreo también se observó mayor humedad en el grupo con tratamiento que en el control, aunque en el momento de la colecta de las muestras había llovido y el cultivo ya no se estaba regando desde el mes de octubre (esto porque es infructuoso agregar agua cuando el cultivo está en periodo de dormancia y no es tan requerido el consumo hídrico), por lo tanto, el suelo con biofertilizante tuvo más humedad debido a las adiciones de lixiviado y vermicomposta añadidos al suelo que le confirieron mayor capacidad de retención de agua, ya que como menciona la FAO la materia orgánica puede retener agua aproximadamente 20 veces su peso. De la misma manera la capacidad de retención de agua del suelo evaluada en el laboratorio con el suelo previamente seco y tamizado resultó ser mayor en los grupos expuestos al biofertilizante en los dos muestreos que el grupo control. Lo que sustenta que el biofertilizante aumenta la capacidad de retención de agua en el suelo. En el caso particular de las muestras de San Isidro localidad del Valle de Juárez fue que obtuvo un considerable porcentaje de humedad, similar al del grupo con biofertilizante del segundo muestreo del Rancho El Regalo, pero no obstante obtuvo el mayor porcentaje de capacidad de retención de agua y esto posiblemente debido a que el suelo tuvo una textura franca a diferencia del suelo del Rancho el Regalo que en su mayoría resultó franco arenosa. Esto corrobora lo que menciona la FAO 2005, que también existe una estrecha relación entre la capacidad de retención de agua del suelo con su textura, y los suelos francos de textura media con altos contenidos de arena muy fina y sedimentos tienen la capacidad más alta de retención de agua. además, esto se pudo observar explícitamente en tres puntos del grupo control del segundo muestreo, los cuales fueron el No 1, No 2 y No 3 que como se pueden observar en la **Tabla 8** les corresponden los porcentajes de arena del 68%, 59% y 48.7% respectivamente y como se observa en la **Figura 13** estos mismos puntos obtienen valores decrecientes de % de humedad del 12.79%, 10.21% y 9.69% lo que puede inferir nuevamente la relación entre el porcentaje de arena y la capacidad de humedad del suelo, y esto visto en el segundo muestreo en el que la humedad ya no era influenciada por la temporada de lluvias.

En cuestión del pH de suelo observado primeramente en los tratamientos de los dos muestreos del Rancho El Regalo agosto-diciembre, se observó un pH más alto en los tratamientos con biofertilizante entre 8.56 y 8.6 cambiando hasta un 90% en fuertemente alcalino para diciembre, mientras que en el grupo control 8.47 y 8.51 manteniéndose en su mayoría medianamente alcalino. En el caso del valle de Juárez fue de 8.73 presentándose en su mayoría como fuertemente alcalino. En primer caso existe una correlación entre el pH del suelo y su textura, como menciona Alvarado, (2008) el pH del suelo aumenta 0.008 unidades por cada unidad de cambio de porcentaje de arena (por ejemplo: para un 40% de arena sería un pH de 8.42 pero si el porcentaje de arena aumenta a 80% el pH incrementa a 8.74), quizás esto pudo influenciar los marcados valores en el segundo muestreo del grupo con biofertilizante el cual presentó en los puntos 1, 2 y 3 porcentajes de arena de 68%, 59% y 48.7% (**Tabla 8**) y en pH presentaron un 8.69, 8.61 y 8.54 (**Figura 22**) disminuyendo significativamente según el porcentaje de arena. El pH, también es importante porque sostiene una estrecha relación con la absorción de los nutrientes en el suelo, por ejemplo: el pH aumenta entorno a las raíces debido a la absorción de los nitratos y este suele disminuir con

la absorción del amonio (Hanna instruments, 2024). Esta relación de absorción de nutrientes y pH explica los bajos niveles de nitratos N-NO₃ que se observaron en los dos muestreos del grupo con biofertilizante en comparación del grupo control, por poseer un pH más elevado. Ginés y Mariscal-Sancho (2002) muestra el “diagrama de Trough” que permite observar el rango de influencia del pH con la disponibilidad de nutrientes, encontrando un rango de pH de 6.0 a 8.0 en la que mayormente se dispone el nitrógeno. El pH del agua (8.2) del Rancho El Regalo se encuentra entre los límites permisibles de la NOM-127-SSA1-2021 el cual es de 6.5 a 8.5 pH, de la misma forma el lixiviado presentó un pH de 8.5 al ser añadido al riego podría modificar el pH un poco más básico, y esto pareció ser de influencia ya en este estudio se observó que a mayor pH mejor fue la respuesta de biomasa microbiana presente en los grupos con biofertilizante en las dos temporadas (agosto y diciembre) en el Rancho El Regalo.

Debido a las condiciones salobres del suelo, y la alta salinidad en el agua de cultivos de la región norte de nuestro Estado, se esperaría que al ser irrigado con agua con altas concentraciones de sales, el suelo llegue a un punto en el que las condiciones no permitan que la vegetación se desarrolle como ha ocurrido en muchos casos en México, donde existen 29.3 millones de hectáreas que están destinadas para la actividad agrícola, pero 500,000 no pueden ser utilizadas por la alta concentración de sales que las hacen improductivas (Martínez *et al.*, 2011). En este trabajo, se observó que el suelo control tuvo una clasificación de suelo salino (60%) y fuertemente salino (20%), mientras que el suelo expuesto al biofertilizante fue clasificado como suelo moderadamente salino (100%), esto, en el mes de agosto, que es la etapa de mayor actividad biológica en contraste a diciembre que ya están en un periodo de dormancia; lo que se puede apreciar como una disminución de CE por menos sales en el suelo tratado con biofertilizante. Esto resulto semejante al trabajo de Prazeres y colaboradores (2010) quienes observaron que al irrigar con agua salina el suelo de las muestras respiración inducida por sustrato (SIR) bajaba más que en el grupo control, sin embargo, cuando se sometían a adiciones de nitrógeno (NH₄ y NO₃ con NaCl) la SIR aumentaba reduciendo el efecto reductor de la salinidad. También se pudo observar una relación entre la conductividad eléctrica y la textura del suelo en los puntos ya mencionados No1, No 2 y No 3 del grupo control del segundo muestreo (**Tabla 8**), el cual presentó una textura del 68%, 59% y 48.7% y en contraste una CE de 6.1 dS m⁻¹, 5.7 dS m⁻¹ y un 4.01 dS m⁻¹ respectivamente (**Figura 25**), tal y como menciona Alvarado (2008) la conductividad eléctrica en el suelo disminuye en 0.053 unidades por cada unidad de cambio en el porcentaje de arena. En conjunto estos son logros positivos para el cultivo, ya que a pesar de que se encuentra en un ecosistema apropiado para su especie, este es afectado por la salinidad. Además, en las plantas en general provoca un estrés salino que conlleva cambios fisiológicos y bioquímicos en el metabolismo, lo que ya no permite que se desarrollen y produzcan como en las condiciones ideales (Lamz y González, 2013). De esta manera el cultivo de nogal al ser irrigado con agua de pozo que resulto con un promedio de 4.57 dS/m de CE, cuando la mayoría de la los pozos que proveen fuentes de abastecimiento hídrico las conductividades oscilan entre 50-549 μS/cm (Solís *et al.*, 2018), esto significa, que sí hay una cantidad considerable de adición de sales al sustrato; además, el concentrado de lixiviado aporta sales ya que obtuvo una conductividad eléctrica que el agua 8.36 ds/m debido a los residuos y agua

con los que se elabora. Sin embargo, todas estas adiciones no fueron negativas en el cultivo, puesto que este también contiene cantidades considerables de nitratos y amonio que de igual manera que en el trabajo de Prazeres y colaboradores (2010) ofrecieron el efecto reductor de la salinidad.

En cuestión de nutrientes al suelo la adición constante de lixiviado proporcionó al tratamiento la cantidad de amonio de 13.54 mg N-NH₄ /L, de nitratos fue 0.84 mg N-NO₃ /L y el nitrógeno inorgánico fue de 14.38 mg/L N inorgánico (valores obtenidos del lixiviado), este eleva las concentraciones de los compuestos en el suelo, permitiendo así la exposición de minerales y ácidos húmicos y microorganismos que son responsables de la asimilación y absorción para el crecimiento de las plantas (Canellas *et al.*, 2002; Alcívar *et al.*, 2002) Por lo que en los tratamientos del Rancho El Regalo, los valores más altos de estas sustancias se encontraron en el grupo control en las dos estaciones (agosto y diciembre) siendo mayor en agosto. Así mismo se observó que estos niveles disminuyeron en diciembre, tanto en el expuesto a biofertilizante como el grupo control. La razón de tales resultados podría ser que el amonio y nitratos al ser nutrientes esenciales para las plantas, estos en el área con biofertilizante estaban siendo absorbidos por las mismas, ya que además del nogal, había plantas distribuidas alrededor del campo asimismo en conjunto se pudo haber producido un incremento radicular de la flora debido a la exposición al lixiviado que permitiera aún más la absorción de nutrientes, como destaca Alcívar y colaboradores (2021) en el que los lixiviados de vermicompost aumentaron la biomasa radicular con la exposición de este a diferentes variedades de pimiento, mientras que los hallazgos similares de crecimiento radicular en arroz por exposición a lixiviado fueron de Hernández y colaboradores (2012). Mientras tanto, en área control había poca o nula vegetación, permitiendo que el amonio y nitratos naturales se mantengan en el suelo. Además, el que se haya encontrado mayores niveles en el mes de agosto en el grupo control implica que las lluvias hayan aportado también nitratos al suelo, ya que los rallos rompen el triple enlace del nitrógeno atmosférico provocando que los átomos dispersos se combinen con el oxígeno y se produzca óxido nitroso el cual se disuelve en la lluvia como ácido nítrico y se absorbe en el suelo (Orchardson, 2020), o de alguna otra forma haya sido provisto de otras fuentes naturales y este queda acumulado en el suelo al no haber los suficientes microorganismos y plantas que lo asimilen. Los dos tratamientos disminuyeron en nutrientes para el mes de diciembre y esto puede ser congruente con la actividad de suelo y organismos que se encuentran en dormancia o reposo por las condiciones más precarias. Esto reflejó también en no encontrar niveles más equilibrados de cociente metabólico, lo que puede inferir menos estrés o actividad como la competencia por los nutrientes en esta estación.

Los dos bioindicadores que se han considerado para evaluar la actividad microbiana del suelo son la respiración basal R_b y el cociente metabólico qCO₂ (Pascual *et al.*, 1997) siendo este último el que se ha utilizado como una medida de la eficiencia del ecosistema que representa el suelo (Anderson y Domsch, 1990). Por consiguiente, la respiración basal (R_B) obtenida en el presente estudio varió entre 11.2 mg C-CO₂ Kg⁻¹ d⁻¹ a 43.6 mg C-CO₂ Kg⁻¹ d⁻¹ siendo mayor en el grupo con tratamiento de lixiviado en el primer muestreo de Agosto en el Rancho el Regalo, lo que se puede inferir que la adición de nutrientes orgánicos asimilables por los microorganismos aumenta

la actividad microbiana en el suelo, y esto es favorable en los meses de mayor crecimiento y aprovechamiento de nutrientes del cultivo (Araújo *et al.*, 2008; Okur *et al.*, 2015). Estos resultados pueden ser comparados con trabajos como los de Glaesser y colaboradores (2010) quién obtuvo valores en suelo con uso de cultivo de café de 4.9 mg C-CO₂ Kg⁻¹d⁻¹ a 21.7 mg C-CO₂ Kg⁻¹d⁻¹, resultando más similares a los obtenidos por Almeida *et al* (2007) los cuales también fueron de cultivos de café en Brasil, ellos obtuvieron valores de 37.5 mg C-CO₂ Kg⁻¹ d⁻¹ y en cultivos con alta exposición solar 43.7 mg C-CO₂ Kg⁻¹d⁻¹. Los datos resultaron similares a los obtenidos por Paolini (2017), quién utilizó la técnica de respiración inducida por sustrato con glucosa al 8% y en el que obtuvo niveles mayores de RB y C_{mic} en suelo con tratamiento orgánico a diferencia de tratamientos en los que se usó fertilizantes químicos. Sin embargo, los niveles de RB, C_{mic} y qCO₂ en sus resultados son mucho mayores que los presentados en esta investigación presentando máximos de 76.2 RB, 472 C_{mic} 7.9 qCO₂, esto se debe a que el suelo de los cafetales ya es en primera instancia más rico en nutrientes y materia orgánica que un suelo de ecosistema desértico al que se encuentra el presente experimento y que sin embargo muestra mejoría al suministro de biofertilizantes.

Estudios realizados por Anderson y Domsch (1990); y Paolini (2017), muestran que parcelas jóvenes pueden presentar valores altos de qCO₂ debido a que el estrés es mayor ya que el suelo no se encuentra consolidado. Esto pudo ser de influencia para las muestras del Valle de Juárez ya que el cultivo tiene más de 35 años lo que podría considerarse como suelo consolidado dado que, estos presentaron buenos niveles de biomasa microbiana hasta 131 de C_{mic} con la adición del lixiviado, e incluso sin la adición de biofertilizantes presentó mejor biomasa microbiana que el grupo control del Rancho El Regalo. Sin embargo, estos resultados fueron similares a los encontrados en el primer muestreo del grupo con biofertilizante en el Rancho El Regalo, lo que indica que si se sigue con la misma exposición a biofertilizantes se puede mejorar continuamente las condiciones del suelo para el cultivo. Esto, puede inferir que los cuidados del cultivo de nogal en el Rancho El Regalo que no es consolidado y por lo tanto puede estar aun generando estrés entre los microorganismos del suelo, al ser tratados con biofertilizante lo que tiene un efecto positivo y se asemeja al suelo consolidado que tiene el Valle de Juárez (muestras sin lixiviado). Además, la exposición de lixiviado en las muestras de Valle de Juárez mostró un aumento en todos los parámetros de actividad microbiana y se mejoró su cociente metabólico, lo que sin duda beneficia al cultivo.

En cuestión al cociente metabólico en los suelos control expuestos a lixiviado se pudo observar que tanto en el grupo del primer muestreo del Rancho El Regalo y el Valle de Juárez, el cociente metabólico, aunque no significativo, resultó menor en los tratamientos con biofertilizante que en grupo control; esto, en correlación al aumento de actividad microbiana que hubo en ellos. Mientras tanto, los suelos control del segundo muestreo del Rancho El Regalo, mostró lo contrario, un cociente metabólico más alto en el suelo expuesto al lixiviado que en el grupo control. Esto debido posiblemente por lo que mencionan Dinesh *et al.*, (2003); Dilly (2005); y Franca *et al.* (2007), que los organismos pueden aumentar el cociente metabólico cuando tienen acceso a materia orgánica

de fácil asimilación; por lo tanto, los microorganismos de este suelo que fue el que menos amonio nitratos presentó, al ver la disposición de este en el biofertilizante, asimiló los nutrientes aumentando su actividad microbiana y en respuesta la reducción del cociente metabólico.

Los niveles más altos de CE, %NaCl, SDT, N-NH₄, N-NO₃ y N inorgánico no mostraron aumentos o disminuciones en los valores de actividad microbiana excepto en el Valle de Juárez estos parámetros máximos se expresaron en conjunto con un aumento de CO₂ y respiración basal alterada en el grupo con lixiviado. Otra observación en estas muestras fue que el pH más alto (9) obtuvo los mayores valores de respiración inducida por sustrato y biomasa microbiana, y por ende un valor más bajo en el coeficiente metabólico (VJ lx y VJ s).

Capítulo 5. Conclusiones

Finalizado el trabajo fisicoquímico y el análisis microbiológico de las muestras del Rancho El Regalo en dos estaciones de monitoreo agosto-diciembre y grupos de controles expuestos a lixiviado incluyendo los de Valle de Juárez, se observó características peculiares de los cultivos de nogal en zonas de suelo árido al que los cultivos están adaptados, lo que mantienen condiciones adversas que sin embargo mejoran con la adición de nutrientes al suelo como son los biofertilizantes, sustancias que lejos de dañar el ecosistema favorecen las condiciones del sustrato y mantienen un mejor equilibrio entre las condiciones fisicoquímicas del suelo.

5.1. Conclusiones del proyecto

Las propiedades generales del suelo natural sin biofertilizante resultaron con muy bajo porcentaje de humedad, con respecto a este trabajo obtuvo los valores más bajos de capacidad de retención de agua un pH básico moderadamente alcalino, obtuvo los valores más elevados de conductividad eléctrica, porcentaje de Cloruro de sodio, lo que asemeja claramente el suelo árido característico del norte del Estado de Chihuahua; este mismo presentó los niveles más altos de amonio, nitratos y por ende de nitrógeno inorgánico pero sin mucha vegetación visible en el área del cultivo. Estas condiciones suelen ser negativas si se requiere el sustrato para la agricultura como es el caso, sin embargo, en condiciones naturales, existen organismos que están diseñados con una adaptación para tolerar esos factores ecosistémicos.

El agua presentó un pH básico, con niveles altos de conductividad eléctrica mayores a los reportados como normales, lo que podría perjudicar al cultivo con su continuo uso por el acumulamiento de sales; este también presentó considerables valores de Cloruro de sodio y sólidos disueltos totales.

El concentrado de lixiviado presentó un pH básico, lo cual beneficia al suelo en la dinámica de asimilación de nitrógeno; la conductividad eléctrica resultó elevada al ser un concentrado, esto no perjudica al cultivo ya que se diluye en el sistema de riego, sin embargo, aumenta un poco la salinidad en el agua. en conjunto los sólidos disueltos totales fueron considerables y este obtuvo más concentración en amonio que en nitratos, dando un total de 14.38 mg N inorgánico/L.

La actividad microbiológica en respuesta a la adición de lixiviado y vermicompost en suelos de cultivo de nogal en (agosto-diciembre) el Rancho El Regalo, al igual que en la adición en el laboratorio mostró ser significativamente mayor en los grupos tratados con el biofertilizante que el grupo control que no fue expuesto a él, especialmente en el mes de agosto que es cuando se estaba suministrando de forma activa dicho biofertilizante. Esto mismo ocurrió especialmente en el suelo de cultivo de nogal de San Isidro localidad del Valle de Juárez expuesto al lixiviado. Por ende, se observó más liberación de CO₂ en el proceso de incubación por consecuencia de la

actividad microbiana que resultó en valores mayores de respiración basal. Esto, muestra positivamente mayor actividad microbiana en presencia de biofertilizantes en suelos salobres, lo que le confiere al suelo generar actividades microbiológicas que al hacer su función ya descrita ayuden a la asimilación de nutrientes para la planta y se cumpla de forma óptima los ciclos biogeoquímicos.

Los parámetros ecofisiológicos encontrados en los valores de respiración inducida por sustrato, resulta significativamente más favorables para los grupos tratados con el biofertilizante, ya que los valores máximos de respiración inducida por sustrato y biomasa microbiana fueron significativamente mayores en el suelo tratado con biofertilizante en el Rancho El Regalo, especialmente en el mes de agosto donde se adiciono de forma activa estos compuestos. De la misma manera fue mayor, aunque no significativamente la respiración inducida por sustrato y la biomasa microbiana en suelos control del Rancho El Regalo y del cultivo del Valle de Juárez expuestos al lixiviado en laboratorio. Esto refiere que la adición consecutiva de biofertilizantes en campo no solo aumenta la actividad microbiana si, no que también aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo (biomasa microbiana), mientras que la exposición directa al lixiviado mostró la respuesta más directa en actividad microbiana que en biomasa, aunque las dos fueron positivas. En cuestión del cociente metabólico el grupo con tratamiento de biofertilizante presentó los niveles más bajos esto es positivo ya que el cociente entre más bajo sea es mejor, demuestra que hay poco estrés en la biomasa microbiana.

La comparación fisicoquímicas del suelo tratado con biofertilizante de los dos muestreos (agosto-diciembre) del Rancho el Regalo resultaron con un mayor porcentaje de humedad, capacidad de retención de agua y pH a diferencia del grupo control, esto debido primeramente por la textura del suelo que resulto en su mayoría ser franco arenosa ayuda a almacenar agua, y en segundo lugar por la adición de materia orgánica como los lixiviados y vermicompost, lo cual fue bueno, ya que en conjunto más capacidad de retención de agua da más porcentaje de humedad y esto ayuda al cultivo a amortiguar las inclemencias ambientales de poca lluvia, y por lo tanto aprovechar el recurso hídrico de una mejor manera. El pH alto del suelo estuvo correlacionado con los porcentajes de arena y los niveles bajos de nitrógeno de forma positiva ya que cuanto más básico se presentó el suelo mayor era la actividad microbiana. También este mismo tratamiento mostró los niveles más bajos de conductividad eléctrica, porcentaje de cloruro de sodio, solidos disueltos totales y nitrógeno inorgánico a diferencia del grupo control; todos estos valores favorables para el cultivo, ya que las primeras variables indican que hay menos cantidad de sales en el suelo o que fueron reducidas por el amonio y nitratos que se añadieron en el biofertilizante. Si bien los niveles bajos de nitrógeno parecen desfavorables, realmente no lo son, ya que su bajo nivel indica la absorción y asimilación de este por los microorganismos y las plantas presentes en el suelo, esto además de observar que existen relaciones entre los valores altos de pH que indican la disponibilidad de nitrógeno en el suelo especialmente en forma de nitratos. En cuestión del aumento de actividad y biomasa microbiana resultó ser más favorable en los grupos tratados con biofertilizante y esto se presentó relacionado a un pH básico alto. También los niveles bajos del

cociente metabólico resultaron favorables en el grupo con biofertilizante lo que implica menos estrés en la biomasa microbiana, lo que se puede inferir que las condiciones fisicoquímicas que cambiaron con el uso de lixiviados y vermicompost de lixiviados de lombriz roja californiana en el cultivo y en las muestras en laboratorio modifican las condiciones del medio y las acondicionan para que la microbiota se desarrolle y haga su óptima función de transformar y asimilar los nutrientes.

Dado los resultados obtenidos en el presente trabajo se acepta la hipótesis de que la aplicación de biofertilizante de lombricomposta en suelos de cultivo de nogal pecanero aumenta la actividad microbiológica y disponibilidad de nitrógeno en el suelo.

Por consiguiente, se puede recomendar seguir con el uso de biofertilizantes en suelos de cultivo de nogal en el Rancho El Regalo, ya que con esto se amortiguar las condiciones precarias y mantener el microbioma en mejores condiciones y así favorecer el desarrollo del cultivo. Además, se puede proponer a los agricultores de San Isidro localidad del Valle de Juárez la implementación de biofertilizantes en los cultivos de nogal especialmente en aquellos que son jóvenes para que se desarrollen en condiciones de sustrato más favorables y que en un futuro los ayuden a no tener problemas, por ejemplo, con el fruto (rajado de la nuez).

Este trabajo apoya los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la agenda 2030, en la que se pretende en el objetivo 2 abastecer de comida a toda la población, y para eso se requiere el buen manejo del suelo que provee la materia prima para que eso suceda; el objetivo 6 que implica el cuidado del agua, con la transformación de los productos nitrogenados por acción de las lombrices en la vermicompost se obtienen lixiviados que son de mejor asimilación por los microorganismos y las plantas lo que disminuiría la entrada de productos nitrogenados que llegan a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos; el objetivo 8 que propone un mejor trabajo y una mejor economía, al tener mejores producciones agrícolas, la deserción en este campo disminuiría por lo que se daría un aumento económico y un mejor trabajo que no dañe con productos tóxicos al trabajador; el objetivo 13, que es la acción por el planeta, en este sentido al existir más actividad y biomasa microbiana la captura de gases de efecto invernadero se puede llevar a cabo con mejor eficiencia ayudando a mitigar el cambio negativo por lo ya generado por el mal uso en la agricultura y el objetivo 15 que es la vida de ecosistemas terrestres, esto se vería en el aumento de microorganismos en el suelo, que aumentan la flora y adaptan de forma positiva las condiciones precarias de los ecosistemas. Por lo tanto, la observación y evaluación de exposición de lixiviados a cultivos de nogal, apoya a los objetivos del sector agroalimentario que con la implementación de tecnologías como el control de humedad por tecnologías digitales, permite administrar de forma óptima los recursos minerales que hay en los lixiviados y vermicompost y lo que sería diseñar sin residuos y contaminación al momento de aprovechar los residuos de materia orgánica para formar lixiviados y colocar abono orgánico en lugar de fertilizantes químicos que pueden dañar el ambiente y al proponer este tipo de actividad en el suelo agrícola se puede promover para regenerar los sistemas naturales como lo mencionan en el Informe Final 2020 de la Evaluación de la situación

actual de economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay (INECG).

Los humanos debemos ser conscientes de las consecuencias que nuestros actos han provocado en el planeta, las cuales terminan perjudicándonos a todos, por lo tanto, se exhorta a brindar a la naturaleza elementos naturales que puedan ser fácilmente asimilables, los resultados podrían ser muy favorecedores.

Anexo A. Nombre del Anexo

Anexo 1. Valores de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (CB1-SB1).

		CO2 basal	RB	RIS	Cmic	qCO2	Humedad
N		20	20	20	20	20	20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0.003350	21.88000	9.43570	58.31145	0.29505	18.17975
	Desviación estándar	0.0013500	8.843053	6.799043	42.017678	0.425726	13.381278
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0.182	0.188	0.136	0.136	0.365	0.208
	Positivo	0.182	0.188	0.136	0.136	0.365	0.208
	Negativo	-0.111	-0.114	-0.127	-0.127	-0.244	-0.150
Estadístico de prueba		0.182	0.188	0.136	0.136	0.365	0.208
Sig. asintótica (bilateral)		.083 ^c	.061 ^c	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.000 ^c	.023 ^c

CRA	pH	CE	NaCl	SDT	NH4	NO3	N inorg
20	20	20	20	20	20	20	20
28.03000	8.52250	6.01590	2.17500	599.52500	11.66280	20.93000	32.59295
2.371342	0.156403	4.390124	1.597984	445.286291	2.072095	21.173624	22.338438
0.191	0.104	0.203	0.205	0.199	0.199	0.305	0.307
0.191	0.093	0.203	0.205	0.199	0.199	0.305	0.307
-0.101	-0.104	-0.193	-0.195	-0.198	-0.089	-0.196	-0.208
0.191	0.104	0.203	0.205	0.199	0.199	0.305	0.307
.053 ^c	.200 ^{c,d}	.031 ^c	.027 ^c	.036 ^c	.037 ^c	.000 ^c	.000 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un Límite inferior de la significación verdadera.

Anexo 2. Valores de la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (CB2 -SB2).

		CO2 basal	RB	RIS	Cmic	qCO2	Humedad
N		20	20	20	20	20	20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0.002245	14.74000	8.58005	53.02440	0.13290	15.36765
	Desviación estándar	0.0002038	1.481251	3.505713	21.664966	0.050898	2.777984
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0.226	0.253	0.189	0.189	0.127	0.160
	Positivo	0.174	0.179	0.189	0.189	0.127	0.093
	Negativo	-0.226	-0.253	-0.113	-0.113	-0.088	-0.160
Estadístico de prueba		0.226	0.253	0.189	0.189	0.127	0.160
Sig. asintótica (bilateral)		.008 ^c	.002 ^c	.059 ^c	.060 ^c	.200 ^{c,d}	.195 ^c

CRA	pH	CE	NaCl	SDT	NH4	NO3	N inor.
20	20	20	20	20	20	20	20
27.61000	8.59550	4.38225	1.59000	438.42500	4.97015	5.45660	10.42660
1.132719	0.101449	1.812776	0.654860	181.486499	2.601858	4.039070	5.630635
0.215	0.183	0.189	0.194	0.189	0.116	0.136	0.153
0.215	0.099	0.189	0.194	0.189	0.090	0.134	0.153
-0.145	-0.183	-0.143	-0.146	-0.143	-0.116	-0.136	-0.089
0.215	0.183	0.189	0.194	0.189	0.116	0.136	0.153
.016 ^c	.077 ^c	.059 ^c	.047 ^c	.059 ^c	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Referencias bibliográficas

Abail, Z., Sampedro, L. y Whalen, JK (2017). La mineralización de carbono a corto plazo de los moldes de lombrices endógeas está influenciada por las propiedades del material del suelo ingerido. *aplicación Suelo Ecol.* 116, 79–86. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.02.022

Aira, M., Olcina, J., Pérez-Losada, M. y Domínguez, J. (2016). Caracterización de las comunidades bacterianas de yesos de *Eisenia andrei* alimentados con diferentes sustratos. *aplicación Suelo Ecol.* 98, 103–111. doi: 10.1016/j.apsoil.2015.10.002

Alarcón, A. y Ferrara, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agric. Téc. Méx.* 26:191-203

Alcalde-López S., Estaben V., Abadía V., Sorribas P. L. (2017). Metahemoglobinemia adquirida, a propósito de un caso. *Revista Atalaya Medica* 11(1): 73-77.

Alcívar M, Zurita-Silva A, Sandoval M, Muñoz C, Schoebitz M. 2002. Reclamation of saline–sodic soils with combined amendments: impact on quinoa performance and biological soil quality. *Sustainability.* 10(9):3083. [https:// www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3083](https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3083)

Alcívar M., Vera J. H., Arévalo O. J., Arévalo S. B. D., Pachar O. L.E., Castillo R. C.B., Carlosama M. L. K., Arizabal C. J. A. y Paltán M. N. D. 2021. Aplicación de lixiviados de vermicompost y respuesta agronómica de dos variedades de pimiento. *Redalyc. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia.* 13(1): e793. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n1.2021.793>

Alcívar, L.M., Vera R J.H., Arévalo S.O., Arévalo S.B., Pachar O.L., Castillo R.C. 2021. Aplicación de lixiviados de vermicompost y respuesta agronómica de dos variedades de pimiento. *RevColombianaCiencAnim. Recia.* 13(1):e793. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n1.2021.793>

Alef, K. 1995. Estimation of soil respiration. pp. 464-470. In: K. Alef and P. Nannipieri (eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry.* Academic Press, New York, NY, USA.

All, H. I., Osman, M. B., Hamid, A. A. and Yusoff, W. M. W. 2009. Development of microbial inoculants and the impact of soil application on rice seedlings growth. *Am. J. Agric. Biol. Sc.* 4:79-82.

Almeida, E. F., R. H. P. Polizel, L. C. Gomes, F. A. S. Xavier, e E. S. Mendonca. 2007. Biomassa microbiana em sistema agroflorestais na zona da mata mineira. *Rev. Bras. Agroecol.* 2: 739-742.

Alvarado, A. 2008. Cambios en las características físicas y químicas de los suelos agrícolas del Valle de Juárez, Chihuahua en las últimas tres décadas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Tesis de licenciatura en Química. Pp 1-65

Anderson, J.P.E, y Domsch K. H. 1978. Aphysiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. ELSEVIER. Volume 10, Issue 3, pág. 215-221

Anderson, T. H. 1994. Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. pp. 67- 76. In: K. Ritz, J. Dighton, and K. E. Giller (eds.). Beyond the biomass, compositional and functional analysis of soil microbial communities. Wiley-Sayce. Chichester, UK

Anderson, T. H. and Domsch, K. M. 1990. Application of ecophysiological quotients (qCO₂ y qD) on microbial biomass from soil of different cropping histories. Soil Biol. Biochem. 22: 251-255. doi: 10.1016/0038-0717(90)90094-G.

Araújo, A. S. F., V. B. Santos, and R. T. R. Monteiro. 2008. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. Eur. J. Soil Biol. 44: 225-230. doi: 10.1016/j.ejsobi.2007.06.001.

Armenta, A., García, C., Camacho, J., Apodaca, M., Gerardo, L., y Nava, Eusebio. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximanhai, Vol.6, núm. 1. Pp. 51-56

Ashitha A. Rakhimol K. y Jyothis M. 2021. Chapter 2-Fate of the conventional fertilizers in environment. Academic Pres. Agriculture. Pp 25-39.

Athmann, M., Kautz, T., Banfield, C., Bauke, S., Hoang, DT, Lüsebrink, M., et al. (2017). Seis meses de actividad de *L. terrestris* L. en bioporos formados por raíces aumentan la disponibilidad de nutrientes, la biomasa microbiana y la actividad enzimática. *aplicación Ecología del suelo* 120, 135–142. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.08.015

Baca, M. G. O. 2007. Posicionamiento del cultivo del nogal. Presentación a nombre del Consejo Mexicano de la Nuez (COMENUEZ) en el evento del 50 Aniversario del Campo Experimental de la Laguna de INIFAP. Matamoros, Coahuila.

Bashan, Y. 2008. El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. In: Díaz-Franco, A. y Meyek-Pérez, N. (Eds.). La biofertilización como tecnología sostenible, Plaza y Valdéz. México. Pp. 17-24

Basulto J., Manera M., Baladía E. (2014). Ingesta dietética de nitratos en bebés y niños españoles y riesgos de metahemoglobinemia. Rev. Pediatr. Aten. Primaria. 16; 65-9

Beltrán M. y Bernal A. 2022. Biofertilizantes: alternativa biotecnología para los agroecosistemas. MUTIS. Vol. 12(1)

Bowen G. D. and Rovira A. D. 1999. The rizhosphere and its management to improve plant growth. Adv. Agron. 66:1-102

Calleros, E.Y., Pérez R., González, A., Alba, J de J. Ávalos, B. Y. y Olivas, E. H. 2018. Metahemoglobina y cuerpos de Heinz como biomarcador de exposición a nitratos en niños. Memoria en extenso. XVII Congreso Internacional XXIII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias 9(21): 15-29

Camargo J. y Alonso Á. 2006. Efectos ecológicos y toxicológicos de la contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: una evaluación mundial. *Medio Ambiente Internacional*. Pp. 831-849.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412006000602>

Canellas L. P, Olivares F. L, Okorokova-Façanha A. L, Façanha A. R. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol.* 130(4):1951–1957.
<https://europepmc.org/article/med/12481077>

Catsburg C., Gago M., Yuan J., Castelao J., Cortessis V., Pike M., Stern M., (2013). Dietary sources of N-nitroso compounds and bladder cancer risk: findings from the Los Angeles bladder cancer study. *Int J Cancer.* 1; 134(1):125-35.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijc.28331/abstract>.

Chávez J. A., Torres C. A., Espinoza E.A., Zambrano D. E., Villafuerte A. G., Zambrano F. E. y Velázquez J. A. 2020. Efectos de la cepa nativa de *Trichoderma* sp. y lixiviado de vermicompost bovino sobre el crecimiento foliar y contenido de clorofila en arroz (*Oriza sativa* L.) en fase de semillero. *Revista Científica Ecuatoriana*. Vol. 7 Núm. 2 pp. 1-9

Chinga W., Torres A., Marmol L. E. y Chirinos D. T. 2020. Efecto de un lixiviado de vermicompost sobre el crecimiento y producción del algodón. *Revista Científica Ecuatoriana*. Vol. 7 Núm. 2. Pág. 32

Ciarkowska, K.; Solec-Podwika, K.; Filipek-Mazur, B.; Tabak, M. Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield. *Geoderma* 2017, 303(1):85–92. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.022>

Creus, C. 2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Argent Microbiol. Argentina*. 49(3):207-209.

De la Mora-Covarrubias, A. Vázquez-González F. y Valero-Galván J. 2016. Sucesión bacteriana del género *Basillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Pp. 9

Dilly, O. 2005. Microbial energetics in soils. pp. 123-138. In: F. Buscot and A. Varma (eds.). *Microorganisms in soils: Roles in genesis and functions*. Springer-Verlag. Berlin, FRG.

Dinesh, R., S. G. Chaudhuri, A. N. Ganeshamurthy, and Ch. Dey. 2003. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. *Appl. Soil Ecol.* 24: 17-26. doi: 10.1016/ S0929-1393(03)00070-2.

Duarte RM, Contreras RLG, Contreras FR. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Biotecnia*. 2012; 14(3):32–38.
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/127/120>

- FAO y GTIS. 2015. Estado mundial del recurso suelo (EMRS)-Resumen Técnico. Organización de las naciones unidad para la agricultura y la alimentación. Estado mundial del recurso suelo, Roma Italia. Pp. 1-95 https://es.slideshare.net/agro_pe/fao-suelo-2015
- FAO. 2002. Informe sobre agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy, Rome. 241 p.
- FAO. 2005. Organización de las naciones unidad para la agricultura y la alimentación. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal “El significado de la porosidad del suelo”. Roma. Boletín de suelos de la FAO 79. <https://www.fao.org/4/y4690s/y4690s06.htm#:~:text=La%20cantidad%20m%C3%A1xima%20de%20agua,de%20enraizamiento%20y%20la%20estructura>.
- FAO. 2008. Tendencias y perspectivas mundiales de los fertilizantes hasta 2011/2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy, Rome. 171 p.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Año Internacional de los Suelos. <http://www.fao.org/soils-2015/es/>
- FAO. 2019. Código Internacional de Conducta para el Uso y Manejo de Fertilizantes. Roma.
- FAO. 2021. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 1era, edición. Editorial IICA. Pp. 1-217
- Fernández, G. M., Garcia M. C. y Escribano M. C. 2019. Salud y pobreza, ODS de la Agenda 2030, ¿un reto posible de alcanzar? Anales de ASEPUMA, ISSN-e 2171-892X, N°. 27
- FIRA. 2002. Diagnóstico de la red nuez en el estado de Chihuahua, Residencia Estatal Chihuahua.
- Fuller, W. A. 2009. Sampling statistics. Ed. Wiley.
- Franca, S. C., S. M. Gomez-da-Costa, and A. P. D. Silveira. 2007. Microbial activity and arbuscular mycorrhizal fungal diversity in conventional and organic citrus orchards. Biol. Agric. Hortic. 25: 91-102. doi: 10.1080/01448765.2007.9755039.
- Galaviz Aragonéz, R. A. 2023. Estudio de la Distribución Geoespacial de Suelos Hidrográficos para el monitoreo de la Evapotranspiración en un predio agrícola utilizando Multidepth Sensors en Ascensión, Chih. Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental. IIT-UACJ
- Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. EDNA-CARIBE/CATIE. Pp. 121-123
- Ginés I. y Mariscal-Sancho, I. 2002. Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Fertiberia S.A. 2-10

Glaeser, D. F., F. M. Mercante, M. A. M. Alves, R. F. da Silva, and O. M. Komori. 2010. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo organico em cultivos de café. *Ens. Ciênc.: Ciênc. Biol. Agrár. Saúde* 14: 103-114.

Grageda, O. A., Esparza F. and Peña J. J. 2000. Environmental impact of nitrogen fertilizers in the region known as “Bajío” in México. *Environmental biotechnology and cleener processes*. pp. 45-54

Grageda, O., Díaz A., Peña J., y Vera J. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de ciencias Agrícolas* Vol. 3 Núm. 6 p. 126-1274

Gravel, V., Antoun, H., and Tweddell, R.J. 2007. Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: Possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biol. Biochem.* 39:1968-1977.

Hanna Instruments. 2024. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/377/amonio-y-nitrato-en-suelos>

Hernández, R., García A., Portuondo L., Muñiz S., Berbara R. y Izquierdo F. (2012). Protección antioxidativa de los ácidos húmicos extraídos de vermicompost en arroz (*Oryza sativa* L.) var. IACuba30. *Rev Protección Veg.* 2012; 27(2):102–110. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522012000200006

Hipólito, E., Carcaño, M. G., Ramos, J. M., Vázquez, E. A., López, L. y Ricaño J. 2017. Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao* L.) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Argent Microbiol.* 49 (4): 356-365

Hudson, N. 2006. Conservación del suelo. Editorial REVERTÉ. Pp.13-14

INECG (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) Informe Final 2020 de la Evaluación de la situación actual de economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay. Pp.1-59

Insam, H. 1990. Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime?. *Soil Biol Biochem.* 22:525-532.

International Nut and Dried Fruit. 2014. Global statistical review 2014-2015. https://www.nutfruit.org/wp-content/uploads/2015/11/global-statistical-review-2014-2015_101779.pdf.

Jenkinson, D. S. and Ladd J.N. 1981. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. pp. 415-471. In: E. A. Paul and J. N. Ladd (eds.). *Soil biochemistry*, Volume 5. Marcel Dekker. New York, NY, USA.

Lamz A. y González M. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *INCA. Cultivos tropicales*. Vol. 34 no. 4. Págs. 31-42

Lopes da Silva A., Soares, R. y Ramires, H. 2022. Aplicabilidad de Microorganismos Eficientes (ME) en la Agricultura: una revisión bibliográfica. *Research, Society and Development*, V. 11, n. 1 pp 11 DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>

Lopes da Silva A., Soares, R. y Ramírez, H. 2022. Aplicabilidad de Microorganismos Eficientes (ME) en la Agricultura: una revisión bibliográfica. *Research, Society and Development*, V. 11, n. 1 pp 11 DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25054>

Lugtenberg, B. and Kamilova, F. 2009. Plant-GrowthPromoting rhizobacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 63: 541-556.

Manassaram, D.M., Backer, L.C., Moll, D.M., (2006). A review of nitrates in drinking water: maternal exposure and adverse reproductive and developmental outcomes. *Environ Health Perspect.* 114:3; 320-327. DOI: 10.1289/ehp.8407

Martínez, V. N.; López, A. C.; Basurto, S. M.; Pérez, L. R. 2011. Efectos por Salinidad en el Desarrollo Vegetativo. *Tecnociencia Chihuahua*. Vol. V, No. 3. Septiembre-diciembre, 2011.

Martínez-Viera, R; Dibut, B y Yoania, Ríos. 2010. Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *cultrop* [online]. vol.31, n.3, pp.00-00. ISSN 0258-5936.

McGilbery R. 1977. *Conceptos bioquímicos*. Editorial Reverté, S. A. Págs. 486-487

Menchaca, M., y Alvarado, E. 2011. Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua en la microcuenca del río Pixquiac. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Pub. Esp. Núm1. Pp. 85-96.

Mora S.R., Cuaical E. T., García J., Revelo V. W., Puetate L. M., Aguila E. y Ruiz M. 2021. Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fosforo y hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de papa. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. Cultivos Tropicales*. vol. 42, no. 2, e02

Morel E., Pistilli R. E., Barrios E., Caballero O., Servin A., Osmar M., Lugo W. y Huerta A. 2021. Eficacia de biofertilizante en la producción de variedades de frejol. *IDESIA (Chile)*. Volumen 39, N° 3. Páginas 13-19

Naciones Unidas (2018), *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G. 2681-P/Rev.

Norma Oficial Mexicana. NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>

Norma Oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. DOF: 2022. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana. NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. DOF:12/07/2005 https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2081772&fecha=12/07/2005#gsc.tab=0

Ochoa Marín R.D. y Ochoa Marín V.H. 2019. Aplicación de microorganismos y sus beneficios en suelos para la producción agrícola. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Medellín. Pp. 1-63

Okon, Y. and Kapulnik, Y. 1986. Development and function of Azospirillum-inoculated roots. *Plant Soil*. 90:3-16.

Okur, N., H. H. Kayikcioglu, F. Ates, and B. Yagmur. 2015. A comparison of soil quality and yield parameters under organic and conventional vineyard systems in Mediterranean conditions (west Turkey). *Biol. Agric. Hortic.* 32: 1-12. doi: 10.1080/01448765.2015.1033645.

Oliva M. Á., G. Palacios G., Abud M., Hernández J. A., Ruíz V. M. y Gutiérrez F.A. 2019. Características nutricionales del maíz cultivado con vermicomposta. *Terra Latinoamericana* 37: 407-413. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.534>

Orchardson E. 2020. El nitrógeno en la agricultura. Explicativos adaptación y mitigación del cambio climático nutrición, salud y seguridad alimentaria. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>

Osman, M. B.; Abdulhamid, A.; Mohammad, N. and Wan, M. W. Y. 2010. Comparison of different delivery system of Trichoderma and Bacillus as biofertilizer. *Adv. Environ. Biol.* 4: 31-33.

Palacios, A., Granados, A., Soto, P., y Flores, T. 2020. Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana. *Revista de Ciencia y Tecnología. Tecnociencia Chihuahua*, Vol. XIV (3): pág. 166 – 182.

Paolini, J. E. 2017. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. Publicado en *Terra Latinoamericana* 36: 13-22.

Pascual, J. A., García C., Hernández T. and Ayuso M. 1997. Changes in the Microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biol. Fert. Soils.* 24:429-434

Pell, M., J. Stenström, and U. Granhall. 2006. Soil respiration. pp. 117-126. In: J. Bloem, D. W. Hopking, and A. Benedetti (eds.). *Microbiological methods for assessing soil quality*. CAB International. Wallingford, UK.

Prazeres, A., Menino, R., Rama, V., Gonçalves, C. y Falareira P. 2010. Substrate-induced respiration (SIR) in a Eutric Fluvisol under sorghum cultivation effects of chronic N fertilisation and saline water irrigation. *Dialnet*. ISSN 2171-1216, Vol. 1 págs. 29-39

- Quiñones-Ramírez, H., Trejo-Cadillo, W., & Juscamaita-Morales, J. (2016). Evaluación de la calidad de un abono líquido producido vía fermentación homoláctica de heces de alpaca. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1726-2216. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.753>
- Ramos, C. A., Castro A. E., León N.S., Álvarez J. D. y Huerta E. Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana* 37: 45-55. DOI: <https://doi.org/10.28940/tl.v37i1.331>
- Retes R., Moreno S., Ibarra F. Martín M. H. y Suárez N. 2021. Cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo asociado a su rentabilidad, ciclo 2020. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. 48. Pp. 2-13
- Salas-Rivera, R., Valdez-Aguilar, L. A., LiraSaldívar, R. H., Ibarra-Jiménez, L., & Cárdenas-Flores, A. 2018. Aspersiones foliares con nutrimentos vs. el rajado de nuez en nogal pecanero *Carya illinoensis*. *Acta Universitaria*, 28(1), 1-8. doi: 10.15174/ au.2018.1695
- Sánchez, B. Ruiz M. y Ríos M.M. 2005. Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud en la cuenca del Río Maracay, Estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55(4):507-534
- Santillana, N. 2006. Producción de Biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología aplicada*, 5(1,2). Pp.87-91
- Simon, L.; Bousquet, J.; Lévesque, R. C. and Lalonde, M. 1993. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*. 363:67-69.
- Smith, S. E. and Read D. J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd Edition. Academic Press. London.
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga., y Mora-Alvarado L.A. 2018. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-1. Pág 35-46.
- Soria, M., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L., y Pereyda, G. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*,19(4), 353-362
- Terry, E., Leyva, A., y Hernández, A. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. VII. No. 2 pp. 47-54
- Tyler, M. 1994. *Ecología y medio ambiente*. Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. pp. 338-341
- USDA-NASS. 2011. Annual non citrus fruits and nuts summary. 1(2)
- Vargas, O., Fundora, O., Pereira, C. y Crespo, T. 1999. La contaminación ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate. *SCIENTIA gerundensis*, 24:5-12.

Vörösmarty, C., y Sahagian, D. 2000. Anthropogenic Disturbance of the Terrestrial Water Cycle. *BioScience*. Volumen 50, Número 9

Ward, Mh, Kilfoy Ba, Weyer Pj, Anderson Ke, Folsom Ar, Cerhan Jr. (2010). Nitrate Intake And The Risk Of Thyroid Cancer And Thyroid Disease. *Epidemiology* (Cambridge, Mass).m21(3):389-395. DOI:10.1097/Ede.0b013e3181d6201d.

Zermeño A., Méndez G., Rodríguez R., Cadena M., Cárdenas J. y Catalán E. 2015. Biofertilización de Vid en Relación con fotosíntesis, rendimiento y calidad de frutos. *Agrociencia* 49:875-887