

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ**

**Instituto de Ingeniería y Tecnología**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



**EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y  
MICROBIOLÓGICA DE UN BIOFERTILIZANTE  
COMO MEJORADOR DE LA FERTILIDAD DEL  
SUELO.**

**Autor: Frida Karina Koelig Escobedo**

**Director: Dr. Alfredo Granados Olivas**

Ciudad Juárez, Chih., a 30 de marzo de 2023

## **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 “*Evaluación fisicoquímica y microbiológica de un biofertilizante como mejorador de la fertilidad del suelo*” que presenta la C. Frida Karina Koelig Escobedo, 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**  
Cd. Juárez, Chih. 30 de marzo de 2023

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Maestría en Estudios y Gestión Ambiental

Los miembros del sínodo, nombrado por la Academia del Programa de Maestría en Estudios y Gestión Ambiental, habiendo realizado la evaluación del proyecto de titulación “*Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de un biofertilizante como mejorador de la fertilidad del suelo*” que presenta la C. Frida Karina Koelig Escobedo, con matrícula 199211, 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 de tesis*

Dr. Alfredo Granados Olivas

---

*Secretario*

Dra. Edith Flores Tavizón

---

*Primer vocal*

Dr. Naún Lobo

Ciudad Juárez, Chih., a 30 de marzo de 2023

## Dedicatoria

Les dedico mi trabajo y logros a mis padres María Soledad y Emilio, al igual que a mi hermana Karla Paola porque son los que han estado y estarán siempre, alimentándome a cumplir mis metas.

A mi prometido, por tu apoyo incondicional durante este proceso, que la vida me siga bendiciendo a tu lado.

A mis abuelas María Luisa e María Iliana, con sus oraciones y consejos me acompañan en mis sueños. Y a la memoria de mis abuelos Miguel Antonio y Eugenio Koelig, que me cuidan de una u otra forma.

A toda mi familia y amigos por alegrarse conmigo de los buenos momentos.

A mis maestros de la maestría en estudios y gestión ambiental, por compartir su conocimiento y ser un gran ejemplo de a donde quiero llegar.

Y, por último, dedico este trabajo a mí por trabajar y esforzarme todos los días para cumplir un grado académico más en mi vida.

## Agradecimientos

Agradezco a mi familia, prometido y amigos, por apoyarme durante mis dos años de maestría y confiar y creer en mí.

Mi profundo agradecimiento a mi director de tesis el Dr. Alfredo Granados, por aceptarme como su tesista y guiarme durante este tiempo. Por compartir de su conocimiento y recursos para que todo fluyera en tiempo y forma. Agradezco a mis sinodales, la Dra. Edith Flores y el Dr. Naún Lobo, por sus valiosas contribuciones en conocimientos. Gracias a cada uno por su paciencia, dedicación y apoyo hacia mí.

Agradezco a la Universidad, y a todos los maestros que estos dos años tuve el placer de coincidir, por ayudar en mi formación para obtener un nuevo grado académico, en especial a aquellos que me abrieron la mente con todos sus conocimientos. Agradezco a la Dra. Marisela Soto, Dr. Oscar Ibáñez, Dr. Eli Pérez, Dr. Jorge Salas, Dr. Sergio Solís, Dr. Adrián Vázquez. Me encuentro profundamente agradecida con la ayuda del personal del laboratorio Ambiental y Geología, y su ayuda técnica para cumplir con la parte metodológica del estudio.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la ayuda financiera recibida durante mi estancia en la maestría.

Agradezco al Instituto Nacional de la Alimentación y Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (NIFA-USDA por sus siglas en inglés) por el apoyo obtenido bajo el fondo de soporte numero 2015-68007-23130.

## Resumen

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos en la agricultura genera un problema ambiental que puede ser solucionado utilizando el concepto de la agricultura regenerativa. El objetivo general de esta investigación fue analizar las propiedades microbiológicas y químicas de un biofertilizante para utilizarlo como mejorador de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos en condiciones semi controladas de invernadero. En primer lugar, para lograr el objetivo se realizó la cuantificación de las concentraciones de los nutrientes que contiene el biofertilizante utilizando un espectrofotómetro portátil marca HACH. Posteriormente se analizaron los parámetros físicos (pH, conductividad eléctrica) y microbiológicos (coliformes fecales, *E. coli*, *Salmonella spp.*, huevos de helmintos y hongos fitopatógenos) del biofertilizante. Por último, se utilizó el biofertilizante directamente en un cultivo de tomate cherry que fue fertilizado utilizando un diseño en bloques completamente al azar, con seis tratamientos (testigo, fertilizante químico, biofertilizante con diluciones al 25%, 50%, 75% y 100%) en cinco repeticiones cada uno, Entre los resultados más importantes se encuentra un pH promedio de los cuatro tratamientos de 7.94 y una conductividad eléctrica de 6.11 dS/m, ambos dentro de los límites de las normas mexicanas. En los análisis microbiológicos se obtuvieron 80 NMP/100 ml de coliformes fecales en biofertilizante con presencia de *Citrobacter freundii*, y en composta 130 NMP/100 ml con presencia de *E. coli*. No existió presencia de huevos de helminto en ambas muestras. Se deben seguir monitoreando estos análisis para comprobar una inocuidad en el biofertilizante. El biofertilizante aumenta la fertilidad del suelo, y no existe diferencia significativa entre los tratamientos en el número de hojas, largo de tallo y raíz. Con los resultados obtenidos se concluye, que es seguro utilizar el lixiviado de lombriz como fertilizante orgánico y optar por este como una alternativa a los fertilizantes inorgánicos.

## Contenido

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Caracterización de la investigación.....	7
1.3. Planteamiento del problema.....	8
1.4. Objetivos.....	10
1.4.1. Objetivo general.....	10
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
1.5. Justificación.....	11
1.6. Hipótesis.....	13
Capítulo 2. Marco teórico.....	14
2.1. Suelo.....	14
2.1.1. Propiedades físicas del suelo.....	16
2.1.2. Propiedades químicas del suelo.....	17
2.1.3. Materia orgánica en el suelo.....	19
2.2. Análisis de suelo y NOM-021-RECNAT-2000.....	20
2.3. Nutrientes necesarios para las plantas.....	21
2.3.1. Nitrógeno (N).....	23
2.3.2. Fósforo (P).....	23
2.3.3. Potasio (K).....	24
2.3.4. Azufre (s).....	25
2.3.5. Calcio (Ca).....	25
2.3.6. Magnesio (Mg).....	25
2.3.7. Hierro (Fe).....	26
2.2.8. Cobre (Cu).....	26
2.3.9. Manganeso (Mn).....	27
2.3.10. Cloro (Cl).....	27
2.3.11. Molibdeno (Mo).....	27
2.3.12. Boro (B).....	27
2.3.13. Níquel (Ni).....	28
2.3.14. Zinc (Zn).....	28
2.4. Ciclo vegetativo de <i>Solanum lycopersicum var. cerasiforme</i> (tomate cherry).....	29
2.5. Fertilizantes.....	30
2.5.1. Fertilizantes inorgánicos.....	31
2.5.2. Fertilizantes orgánicos.....	31
2.5.3. Sinergismo en la utilización de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.....	32
2.6. Lombricomposta y sus lixiviados como biofertilizante.....	32
2.6.1. NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta)- Especificaciones y métodos de prueba.....	33
2.7. Fundamentos de Espectroscopia de fluorescencia de rayos X.....	34

3	Metodología.....	35
3.1	Identificación y cuantificación de micronutrientes y macronutrientes.....	36
3.1.1	Macronutrientes.....	36
3.1.2	Micronutrientes.....	38
3.2	Análisis fisicoquímico y microbiológico del fertilizante.....	40
3.2.1	Análisis fisicoquímicos.....	40
3.2.2	Análisis microbiológicos.....	41
3.3	Diseño experimental para el cultivo de tomate Cherry.....	45
3.4	Análisis de la fertilidad del suelo con equipo de fluorescencia de rayos X (FRX) portátil.....	46
4.	Resultados y discusiones.....	47
4.1	Análisis de propiedades químicas del biofertilizante.....	49
4.1.1	Identificación de pH y conductividad eléctrica en el biofertilizante.....	49
4.1.2	Identificación y cuantificación de micronutrientes y macronutrientes.....	51
4.2	Análisis microbiológico del biofertilizante.....	54
4.2.1	Coliformes fecales.....	54
4.2.2	<i>Prueba confirmativa para Escherichia coli.</i> .....	56
4.2.3	Pruebas bioquímicas.....	58
4.3	Fertilidad del suelo.....	61
4.4	Comparación del cultivo <i>Solanum lycopersicum var. cerasiforme.</i> ....	63
5	Conclusiones.....	65

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Horizontes del suelo. (FAO, 2013). .....	15
<b>Figura 2.</b> Triangulo textural para conocer la textura del suelo (Rucks <i>et al</i> , 2004). .....	17
<b>Figura 3.</b> Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo (Navarro & Navarro, 2003).....	18
<b>Figura 4.</b> Promedio de la composición elemental de las plantas (FAO, 2002).....	21
<b>Figura 5.</b> Etapas en el crecimiento y desarrollo de la tomatera (Moreno, 2019). .....	29
<b>Figura 6.</b> Crecimiento radicular de los cultivos comparándose un suelo con fertilización en contra de uno sin fertilización (FAO, 2002).....	30
<b>Figura 7.</b> Diagrama de flujo de la metodología general. ....	35
<b>Figura 8.</b> Equipo de laboratorio. Espectrofotómetro portátil DR1900 marca HACH.....	36
<b>Figura 9.</b> Resultado positivo a <i>E. coli</i> en muestras de lombricomposta después de 24 horas a 36 °C en incubadora en agar Macconkey. ....	57
<b>Figura 10.</b> Resultado positivo a una bacteria no fermentadora de lactosa, en muestra de lixiviado de humus de lombriz después de 24 horas a 36 °C en incubadora en agar Macconkey. ....	58
<b>Figura 11.</b> Caja Petri con tres divisiones, a) agar salmonella-shigella, b) eosina azul de metileno, c) verde brillante.....	59
<b>Figura 12.</b> Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias en el lixiviado de lombricomposta. De izquierda a derecha se encuentra las pruebas: agar RM-VP, agar lisina hierro, agar fenilalanina, agar urea, agar MIO, agar SIM, agar citrato, agar kligler. ....	60

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Clasificación del suelo por su valor de pH, según la Norma Oficial Mexicana 021 (SEMARNAT, 2002).....	18
<b>Tabla 2.</b> Formas iónicas de los nutrientes esenciales para las plantas (Navarro & Navarro, 2014). .....	22
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones fisicoquímicas para la lombricomposta (SCFI, 2007). .....	33
<b>Tabla 4.</b> Limite máximos permisibles para las especificaciones microbiológicas. NMP (número más probable) (SCFI, 2007). .....	33
<b>Tabla 5.</b> Mezclas preparadas con biofertilizante y agua para componer la concentración de cada tratamiento. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Tratamientos para el diseño experimental en el desarrollo del cultivo del tomate Cherry. ....	45
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de pH y conductividad eléctrica ( $dS\ m^{-1}$ ) medidos con un equipo sensION + Portable Meter multiparámetros. ....	49
<b>Tabla 9.</b> Identificación de macronutrientes en el biofertilizante y sus valores a diferentes concentraciones, medidos con un espectrómetro visible portátil, marca Hach DR1900. El tratamiento 1 es el biofertilizante al 25% diluido en agua, T2 = 50%, T3 = 75% y T4 = 100%. Las letras diferentes en las columnas dictan una diferencia significativa entre medias utilizando la prueba tukey ( $\leq 0.05$ ). .....	52
<b>Tabla 10.</b> Identificación de micronutrientes en el biofertilizante y sus valores a diferentes concentraciones, medidos con un espectrómetro visible portátil, marca Hach DR1900. El tratamiento 1 es el biofertilizante al 25% diluido en agua, T2 = 50%, T3 = 75% y T4 = 100%. Las letras diferentes en las columnas dictan una diferencia significativa entre medias utilizando la prueba tukey ( $\leq 0.05$ ). * la concentración de este nutriente se encontró por debajo del limite de detección del equipo. ....	53
<b>Tabla 11.</b> Valores de NMP por cada 100 ml de muestra y 95% de límite de confianza (cuando se utilizan 5 alícuotas de muestra de 10 ml, 5 de 1 ml y 5 de 0.1 ml), según la NMX-AA-042-SCFI-2015 (SCFI, 2015). ....	54
<b>Tabla 12.</b> Número de tubos que dieron reacción positiva a coliformes fecales a 36 °C después de 24 y 48 horas en la muestra de lixiviado líquido. ....	55
En el Tabla 13, se observan los resultados de coliformes fecales que se obtuvieron para la bermicomposta. A diferencia del lixiviado y comparándolo con la NMX-AA-042-SCFI-2015, los resultados después de 48 horas serian 23 NMP, multiplicados por el factor de dilución de 10, daría un resultado final de 230 NMP / 100 mL de bermicomposta, un valor más alto que el lixiviado. ....	55
<b>Tabla 13.</b> Número de tubos que dieron reacción positiva a coliformes fecales a 36 °C después de 24 y 48 horas en la muestra de bermicomposta. ....	56
<b>Tabla 14.</b> Resultados de las pruebas bioquímicas. RM: rojo de metilo, VP: Voges-Proskauer, LIA: agar lisina hierro, FEA: agar fenilalanina, U: urea, MIO: agar MIO, SIM: agar SIM, CIT: agar citrato, KIA: agar Kligler. ....	60
<b>Tabla 15.</b> Macronutrientes para conocer la fertilidad del suelo, obtenidos del equipo de fluorescencia de rayos X. Donde el suelo es el tratamiento sin fertilizar, T1: 25% lixiviado de lombricomposta, T2: 50%, T3: 75%, T4: 100%, T5: control químico, T6: control agua. ....	62
<b>Tabla 16.</b> Micronutrientes para conocer la fertilidad del suelo, obtenidos del equipo de fluorescencia de rayos X. Donde el suelo es el tratamiento sin fertilizar, T1: 25% lixiviado de lombricomposta, T2: 50%, T3: 75%, T4: 100%, T5: control químico, T6: control agua. ....	63
<b>Tabla 17.</b> Número de hojas, largo de la raíz (cm), largo del tallo (cm) del cultivo <i>Solanum lycopersicum</i> var. Cerasiforme, para comparar los tratamientos. T1= lixiviado de lombricomposta al 25%, T2= 50%, T3= 75%, T4= 100%, T5= control químico, T6= control agua. Las letras diferentes significan una diferencia significativa entre medias, las letras iguales significan que no existe diferencia entre medias, con las pruebas de Tukey. ....	64

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

En los últimos años ha crecido la demanda de una producción sustentable de alimentos, tanto por el cuidado a la salud, como por la preocupación ambiental asociada al uso indiscriminado de agroquímicos (Laforge *et al*, 2020). Para la solución a este problema surgió la agricultura regenerativa que es una forma sustentable de llevar alimentos a la población utilizando insumos orgánicos para la producción de productos agropecuarios. El uso de biofertilizantes creados de materia orgánica cumple un papel fundamental porque su objetivo es aumentar el número de microorganismos y acelerar los procesos microbianos para mejorar la fertilidad del suelo mediante la fijación de los nutrientes en el suelo y que sean fácilmente asimilables por las plantas (Sheraz *et al.*, 2010). Este tipo de agricultura necesita insumos inocuos que proveen a las plantas de los nutrientes necesarios para su óptimo desarrollo, los insumos más utilizados son los abonos orgánicos que incluyen residuos de plantas, frutas, cosechas, estiércol, guanos de aves, entre otros. El abono orgánico es rico en nutrientes, pero antes de poder ser utilizado como fertilizantes deben ser preparados y tratados en su proceso agroindustrial. Un método económico y sencillo es el uso de lombrices en abono orgánico, donde las lombrices, con la interacción de microorganismos en su tracto digestivo son encargadas de biodegradar la materia orgánica, resultando en una reducción de masa, tiempo de procesamiento corto y altos niveles de humus con una fitotoxicidad reducida, para ser utilizado como biofertilizante (Beltrán-Morales *et al.*, 2019; Aynehband, Gorooei, & Moezzi, 2017).

Acosta-Duran *et al.*, (2017) evaluaron el sustrato de lombricomposta para el cultivo de Belén, donde su objetivo fue determinar el nivel óptimo de lombricomposta como componente del medio de crecimiento para la producción de Belén en contenedor en el

estado de Morelos. Como metodología se probaron diferentes dosis de lombricomposta preparada en seis tratamientos que fueron: tratamiento químico, 100% de lombricomposta, 75% lombricomposta + 25% sustrato general, 50% lombricomposta + 50% sustrato general, 25% lombricomposta + 75% sustrato general y 0% lombricomposta + 100% sustrato general. El riego se realizó dos veces a la semana después del trasplante. Y se tomaron los datos de las variables (altura, peso fresco, peso seco, longitud de raíz, peso fresco de raíz, peso seco de raíz, número de hojas y diámetro de flor) cuando la planta de Belén alcanzó su tamaño comercial. Entre los resultados se encontró que la inclusión de lombricomposta al sustrato aumentó la conductividad eléctrica, el pH y la retención de humedad. Los mejores resultados se obtuvieron entre las dosis de 75 a 100% donde se observó un buen desarrollo vegetativo y con mejor desarrollo en todas las variables mencionadas anteriormente. El tratamiento de 100% tuvo resultados estadísticamente similares con respecto a la fertilización química. Se concluye con los resultados obtenidos que la fertilización orgánica utilizando lombricomposta como sustrato mejoró las condiciones físicas como el incremento de la conductividad eléctrica y pH, así como mejor absorción de los macro y micronutrientes. Por lo que se puede sustituir a la fertilización química, utilizando una alternativa orgánica como lo es la lombricomposta y sus lixiviados.

Cruz, Alayón y Morón (2017), estudiaron “El efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde” en Campeche, México. El objetivo del estudio fue comparar el efecto de la fertilización orgánica y la fertilización química en el crecimiento, floración, mortalidad y daños foliares en plantas de tomate verde bajo condiciones de malla sombra. Para cumplir con el objetivo se utilizaron cuatro tratamientos (1) control sin aplicación de fertilizante, (2) aplicación de 50 g de lombricomposta, (3) aplicación de lombricomposta con lixiviados de los mismo en 20 L/ha y (4) aplicación de 2.26 g de fertilizante químico, en un diseño completamente al azar con 15 macetas por tratamiento. En este estudio se realizó una caracterización fisicoquímica del suelo donde evaluaron % de materia orgánica, pH, % arena, % arcilla, % limo, conductividad eléctrica, fósforo, potasio y nitrógeno. En la producción de biomasa, los mejores resultados se dieron en los tratamientos 1 y 2, tanto en la producción de biomasa aérea y en la producción de hojas y flores, aunque no hubo una diferencia significativa entre tratamientos para la

producción de raíz. En la evaluación a los daños foliares el tratamiento con fertilización química fue el que obtuvo un mayor porcentaje de daños por nutrición, misma tendencia que se dio en la mortalidad de las plantas, en donde la mayor mortalidad se dio en el tratamiento químico, el tratamiento con lombricomposta no tuvo mortalidad, y el tratamiento control y lombricomposta + lixiviado presentaron una baja mortalidad. Se llegó a la conclusión que para lograr una buena calidad del suelo la utilización de lombricomposta ayuda a una mayor producción de biomasa, hojas y flores y ayuda a disminuir la mortalidad y los daños foliares en la planta del tomate verde.

Santacruz *et al.*, (2018) realizaron el trabajo: “Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego”. El objetivo del estudio fue probar diferentes dosis de lixiviado de lombriz alimentadas con estiércol bovino, y dos sistemas de riego (goteo y superficial) en el cultivo del chile jalapeño en la Comarca Lagunera, México. Utilizaron dos dosis del biofertilizante (2400 L/ha y 4800 L/ha) y dos sistemas de riego. Los resultados que obtuvieron el mejor rendimiento utilizando el tratamiento 4800 L/ha en conjunto con el riego por goteo, en donde también se incrementó la producción del chile un 18.60%. La cantidad de materia orgánica no presentó una diferencia significativa entre los tratamientos, a diferencia del pH en donde el tratamiento de 4800L/ha obtuvo un mayor pH, pero en la conductividad no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Se concluye que el lixiviado de lombriz a 4800 L/ha en conjunto al riego por goteo aumento el rendimiento del cultivo de chile jalapeño. Al igual que este tipo de riego tuvo un ahorro del 15.22% de agua.

Ramos y colaboradores (2018) estudiaron la “Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate”. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fertilidad del suelo y el rendimiento del cacahuate bajo condiciones de campo en la comunidad de José María Pino Suarez, municipio de Jiquipilas, Chiapas. El trabajo se llevó a cabo en condiciones de temporal en el ciclo agrícola de julio – noviembre de 2016, se analizaron seis tratamientos con seis repeticiones cada uno, que consistieron en diferente dosis de lombricomposta de la siguiente manera: (1) control de suelo con manejo químico, (2) 300 g de lombricomposta por punto, (3) 225 g de lombricomposta, (4) 150 g de lombricomposta, (5) 75 g de

lombricomposta, (6) control de suelo con manejo agroecológico únicamente. Se utilizó la NOM-021-SEMARNAT-2000 para evaluar la fertilidad del suelo. La adición de lombricomposta al suelo tuvo un efecto positivo en las propiedades físicas y en las propiedades químicas como en la disponibilidad del potasio, fósforo, hierro y manganeso, y también en el aumento del pH. Tanto la germinación de la planta como su floración se dieron en un menor tiempo con la utilización de lombricomposta. No se mostraron diferencias significativas entre la adición de lombricomposta al suelo y el tratamiento control con manejo químico. Concluyeron que el mejor tratamiento fue el número 3, con 225 g de lombricomposta en el punto de siembra de cacahuete, en donde se mejoraron las características fisicoquímicas del suelo, teniendo un mejor rendimiento en el desarrollo de la planta. Es posible que utilizando continuamente la lombricomposta ayude a mejorar las condiciones biológicas del suelo, y ayudar al reciclamiento de los nutrientes, mejorando la fertilidad del suelo.

Cancino-Méndez, Rosales-Uc & Herrera-Chale en el año 2018, estudiaron “La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica”, en Yucatán, México. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la microbiología de los lixiviados que provienen de los biofertilizantes tipo bokashi para identificar indicadores de inocuidad como factores de calidad. Para la metodología se tomó una muestra por triplicado del lixiviado del biofertilizante y se realizaron los análisis utilizando las normas, NOM-114-SSA1-1994 para la determinación de salmonella en alimentos, la NOM-113-SSA1-1994 para los coliformes totales en placa y NOM-112-SSA1-1994 para la determinación de bacterias coliformes. En ninguno de las tomas de las muestras se encontró *Salmonella spp*, los coliformes fecales se encontraron bajo los rangos de la norma, todas las muestras dieron el resultado de <2 NMP/ ml, mientras que en los coliformes totales las dos primeras tomas de la muestra dieron <10 UFC/ml, pero la última toma se encontró fuera del rango con 530 UFC/mL, la presencia de estos microorganismos no necesariamente implica un riesgo sanitario, si-no que son indicadores de cuando existe una práctica deficientes. Se concluye que los análisis microbiológicos realizados en la investigación indican que el biofertilizante tipo bokashi cumple con el grado de inocuidad necesario para ser utilizado en la agricultura orgánica.

Wang *et al* (2017), realizaron el estudio con su título en inglés “Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study”, en la provincia de Liaoning, China. El principal objetivo de este estudio fue investigar los efectos en la aplicación de lombricomposta en el crecimiento, rendimiento, y fruto del tomate. Para poder cumplir con el objetivo se llevó a cabo un experimento en macetas en un invernadero utilizando cuatro tratamientos: (1) lombricomposta, (2) composta, (3) urea y (4) sin fertilizante en suelos con 0, 5 y 20 años de historia de siembra del tomate. Al final se encontró que utilizando el tratamiento de la lombricomposta las plantas de tomate obtuvieron una mayor altura y un diámetro de tallo más grueso. El resultado anterior se pudo deber a que la lombricomposta también aumentaba la concentración de nitrógeno en suelo, encontrándose mayores cantidades de nitritos y amonio, que las plantas utilizan para sintetizar moléculas. Por otro lado, los resultados demostraron que la calidad del tomate fue influenciada significativamente por el tratamiento de biofertilizante independientemente del número de años. En conclusión, los resultados sugieren que la lombricomposta utilizada como biofertilizante mejora las propiedades del suelo, aumentando el crecimiento del tomate, rendimiento y calidad del fruto en comparación con la urea. También considerando la que se obtuvo una conductividad eléctrica más alta y un pH más bajo del suelo, la utilización de la lombricomposta se recomienda especialmente en suelos nuevos que no han sido plantados anteriormente con tomate.

Ahmadpour & Armand (2020) estudiaron con su título en inglés: “Effect of ecophysiological characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) in response to organic fertilizers (compost and vermicompost)” en Khuzestan, Irán, y su objetivo principal fue seleccionar el fertilizante apropiado para el crecimiento de la planta del tomate en condiciones de invernadero. Para cumplir con el objetivo, evaluaron a los fertilizantes orgánicos sobre sus características fisicoquímicas con un diseño factorial completamente aleatorio con tres repeticiones, donde a las muestras de lombricomposta, composta y suelo se midieron las siguientes características: conductividad eléctrica, pH, y nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, fierro y magnesio. En la altura de plantas, número de hojas, largo de las raíces, y hojas y raíces en peso seco los resultados menos deseables se dieron en el tratamiento que contenía solo suelo, y tanto

la lombricomposta como la composta tuvieron resultados favorables y muy parecidos entre sí. La misma tendencia se dio en las características químicas donde la lombricomposta obtuvo los mejores resultados. En conclusión, los mejores tratamientos fueron la lombricomposta y la composta con muy pocas diferencias entre sí. Se espera que juntando ambos tratamientos funcionen con un sinergismo para aumentar todas las características fisicoquímicas en el desarrollo de la planta de tomate.

Towett, Shepherd & Drake (2015) escribieron el artículo “Plant elemental composition and portable X-ray fluorescence (pXRF) spectroscopy: quantification under different analytical parameters” en Nuevo México, Estados Unidos. El objetivo del estudio fue proporcionar una base técnica para el análisis de plantas utilizando un equipo portátil de Fluorescencia de rayos X. La aplicación de este tipo de instrumentos puede proporcionar datos con precisión y así reducir el tiempo y el presupuesto en comparación con técnicas convencionales. Para lograr el objetivo se prepararon diferentes muestras vegetales entre semillas, hojas, y tallos. Las muestras se lavaron con agua del grifo y posteriormente con agua desionizada y se secaron en un horno a 60 °C durante 3 días. Posteriormente se pasaron por un molino para crear un polvo no fibroso y una alta homogeneidad. La experimentación se realizó con tres formas diferentes de presentación, la primera fue el contacto superficial de las muestras de polvo, la segunda fue utilizando un vacío y la última utilizando una película de prolene para proteger la muestra. En los resultados encontraron que nutrientes como el magnesio y el fósforo que son más ligeros, necesitan el vacío para una mejor detección de estos elementos, en cambio elementos como azufre, potasio y calcio se pueden medir directamente de manera confiable, aunque los límites de detecciones inferiores pueden verse comprometidos. Concluyeron que los instrumentos XRF portátiles proporcionan datos con suficiente precisión para que sean utilizados en aplicaciones agronómicas, ambientales y nutricionales, y ayudan a reducir el tiempo de análisis.

## 1.2. Caracterización de la investigación

Los tipos de investigación son pura y aplicada. Cuando se basa en encontrar información y en el conocimiento teórico, se habla de investigación pura, mientras que la aplicada, es en donde se construyen y modifican datos, sin embargo, la aplicada deriva y depende de la básica. La presente investigación se centró en ambos tipos de investigación, porque la primera parte del proyecto fue investigar para tener el conocimiento sobre el tema, y después aplicar los conocimientos adquiridos en una metodología. Se buscó utilizar ambos tipos de metodología para encontrar un sinergismo en la investigación (Ceroni, 2010).

En cuanto al nivel de profundidad, esta investigación se basó en ser descriptiva porque evaluó diferentes propiedades de un biofertilizante, buscando describir las características fisicoquímicas y microbiológicas del mismo. Por otro lado, fue un estudio correlacional, porque este tipo de estudios busca saber cómo se comporta una variable conociendo el comportamiento de otra. En esta investigación se tienen dos variables, una estudiada y avalada por diferentes laboratorios que es la fertilización química, y buscando correlacionar con la fertilización orgánica para observar sus diferencias o similitudes y saber qué tipo de fertilización es mejor (Hernández, 2014).

Cuando se habla de los tipos de datos empleados existen tres tipos de investigaciones: las cuantitativas, cualitativas y mixta. En esta investigación el proceso a utilizado fue el cuantitativo porque fue un proceso secuencial que fue analizando la realidad de una manera objetiva. En especial porque se utilizó la estadística para rechazar o aceptar una hipótesis (Hernández, 2014).

### 1.3. Planteamiento del problema

El año 2020 fue marcado en la historia como el surgimiento de una pandemia causada por el COVID-19. Los fertilizantes se volvieron fundamentales en las practicas agrícola, por ejemplo, en 1950 la demanda de fertilizantes era de 20 millones de toneladas, para el año 2019-2020 fue de 190 millones de toneladas. El mercado mundial de fertilizantes para finales del año 2019 se valoró en 155 800 millones de dólares. La pandemia impactó a muchas industrias incluyendo la industria de los fertilizantes, al introducir medidas necesarias como la cuarentena (Nicola & Bouzas – Mendoza, 2021; Ilinova, Dmitrieva & Kraslawski, 2021).

El 29% del área total del planeta es suelo, del cual el 13% se utiliza para la producción agrícola. (Grajeda-Cabrera, 2012). La agricultura en México es uno de los sectores productivos más importantes ya que cerca de 30 millones de hectáreas están destinados a tierras de cultivos (FAO, 2020). Los cultivos obtienen del suelo los nutrientes necesarios para desarrollarse. Cuando existe deficiencia de nutrientes los agricultores utilizan fertilizantes sintéticos, aunque pueden tener un elevado costo y causar contaminación ambiental cuando llegan a cuerpos de agua como eutrofización e hipoxia, porque los cultivos solo absorben entre el 20 y 40% de los nutrientes y el resto se pierde (Menzies *et al.*, 2020). Por lo general, fertilizantes de síntesis química o inorgánicos, son utilizados incorrectamente por los productores, porque no tienen medidas para conocer la cantidad de fertilizante que utiliza cada cultivo y cada tipo de suelo (Cruz, Alayón & Morón, 2017; Rodríguez *et al.*, 2014). Según el Instituto Nacional de Desarrollo Social (INDESOL) en el año 2015, más de la mitad de los suelos en México padecían degradación por actividades agrícolas y ganaderas.

Según datos de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), en Chihuahua se siembran 1 millón 40 mil hectáreas con una producción de 13 millones de toneladas. Chihuahua se encuentra en primer lugar a nivel nacional en la producción de pistache, manzana, algodón, nuez, alfalfa, avena, trigo y cebolla; en segundo lugar, cereza, chile verde y cacahuate, en tercer lugar, en chile seco, durazno, sandia y camote y en cuarto lugar orégano, frijol y membrillo. Esta producción tiene un valor de más de 44 mil millones de pesos (Calderón *et al.*, 2018). Por esta razón y debido a la degradación

de los recursos naturales, los investigadores se han visto obligados a buscar alternativas que tengan similares o mejores resultados y no perjudiquen al medio ambiente y a la vez logren que Chihuahua siga siendo el primer productor en los cultivos mencionados anteriormente que ayuden a la economía del estado (Boudet, Boicet, Duran & Meriño, 2017). Los fertilizantes y abonos orgánicos pueden suplir el uso de fertilizantes sintéticos satisfaciendo la demanda de nutrientes de los cultivos (Olivares-Campos *et al.*, 2012). La lombricomposta y sus lixiviados se han situado como fertilizantes orgánicos de carácter importante porque aportan los micronutrientes y macronutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas y sus raíces, mejorando a su vez la estructura y propiedades del suelo (Aba *et al.*, 2016).

Datos obtenidos por Flores y colaboradores en el año 2013 muestran que al año se producen 138 mil toneladas de estiércol bovino (peso húmedo) en el Valle de Juárez, Chihuahua, que pueden ser utilizados como base para crear una lombricomposta y obtener fertilizantes orgánicos. Al no ser utilizados, causaran contaminación ambiental. Pero para poder utilizar un biofertilizante en el desarrollo de cultivos, se deben conocer sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, porque la inocuidad de sus lixiviados es un factor en la calidad del producto (Cancino-Méndez, Rosales-Uc & Herrera-Chale, 2018). La inocuidad alimentaria tiene una estrecha relación con la agricultura orgánica, es decir, no por ser un producto orgánico es estrictamente un producto inocuo, por lo que se realizan los análisis pertinentes para demostrar la inocuidad de los biofertilizantes y que puedan ser útiles en la agricultura ecológica y obtener alimentos inocuos (Márquez-Hernández *et al.*, 2010).

Esta investigación plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto del biofertilizante en la productividad de los cultivos y la fertilidad del suelo?

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Analizar las propiedades microbiológicas y químicas de un biofertilizante para utilizarlo como mejorador de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos en condiciones semi controladas de invernadero.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- a) Identificar los micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Cl, B, Mo, Ni, Zn) y macronutrientes (Ca, Mg, P, K, N, S) así como sus concentraciones en el biofertilizante utilizando un espectrofotómetro portátil DR1900 marca HACH.
- b) Describir las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del fertilizante utilizando como referencia la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 para determinar los límites máximos permisibles microbiológicos y las especificaciones fisicoquímicas.
- c) Determinar la fertilidad del suelo del cultivo como estrategia para el mejoramiento utilizando un equipo portátil de fluorescencia de rayos X.
- d) Comparar el crecimiento del cultivo *Solanum lycopersicum var. cerasiforme* (tomate cherry), conforme a las dosis y aplicaciones del biofertilizante, el control químico y el testigo utilizando solo agua.
- e) Evaluar la eficiencia del biofertilizante desde el punto de vista fisicoquímico y bacteriológico en comparación con un fertilizante sintético.

## 1.5. Justificación

El uso de los fertilizantes no está emparejado con el comienzo de las actividades agrícolas. A comienzos de siglo XX, la invención de los fertilizantes revolucionó la agricultura, porque permitió la recuperación de la fertilidad y la capacidad reproductiva del suelo. Se espera que para el año 2050 la población mundial alcance entre los 9 y 10 mil millones de habitantes. Para poder satisfacer la demanda de alimentos se deberán aumentar las superficies de cultivo y proporcionar los nutrientes necesarios para el suelo de grandes cantidades de fertilizantes sintéticos (Navarro & Navarro, 2014).

En promedio el consumo nacional mexicano de fertilizantes entre los años 2016-2018 fue de 5.5 millones de toneladas (SIAP, 2019). El impacto que ha ocasionado el inadecuado uso de los fertilizantes sintéticos ha sido estudiado en los últimos años desde su contaminación en el suelo, agua y aire hasta la emisión de gases de efecto invernadero. En México la fertilización depende de la capacidad económica del productor, y no de las necesidades del suelo, y la aplicación se da en grandes cantidades cuando hay dinero y pequeñas cantidades cuando no tienen los recursos necesarios (Grajeda-Cabrera, 2012).

Hoy en día existe la agroecología que se centra en incrementar la producción agrícola de un 30 a un 40% sin continuar con la degradación ambiental. Entre sus objetivos más importantes se encuentran la seguridad alimentaria y conservar los recursos naturales protegiendo el medio ambiente (Altieri & Nicholls, 2000). Es importante estudiar las alternativas para no continuar con el agotamiento de la fertilidad del suelo y la contaminación ambiental, como los biofertilizantes. El uso de biofertilizantes tiene varias ventajas. Primero, ya que son ecológicos y segundo porque son accesibles para los agricultores, en especial aquellos que no cuentan con una gran economía (Sheraz *et al.*, 2010). Existen muchos materiales que se pueden utilizar como fertilizantes orgánicos, pero en los últimos años el uso de lombricomposta ha ganado fama entre los agricultores (Rodríguez *et al.*, 2010).

El compostaje y los abonos verdes, entre otros, agregan materia orgánica que es crucial para la salud del suelo agrícola y nutrientes que se utilizan para recuperar los suelos de la degradación. La materia orgánica ayuda a la capacidad de retención de agua, y también en la capacidad de agua disponible para la planta. Aunque los fertilizantes orgánicos mejoren las propiedades del suelo y son ricos en nutrientes, se ha estudiado que son fácilmente degradables por los microbios del suelo por lo que requieren una aplicación regular para mantener sus beneficios (Menzies *et al.*, 2020).

Este trabajo tendrá un impacto beneficioso en los productores agrícolas de la región. Cada vez los productores tienen más en claro la importancia de la conservación de los suelos y del agua. El objetivo de estudiar el biofertilizante para la mejora del suelo y la productividad de los cultivos consiste en darles a los agricultores una alternativa en la que pueden optimizar sus costos de producción y mitigar el impacto del medio ambiente y que puedan contribuir en el uso eficiente de los recursos naturales con las nuevas biotecnologías que son estudiadas por los investigadores.

## 1.6. Hipótesis

El uso de los biofertilizantes extraídos del lixiviado de humus de lombriz roja californiana mejora la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos en comparación con fertilizantes inorgánicos.

## Capítulo 2. Marco teórico

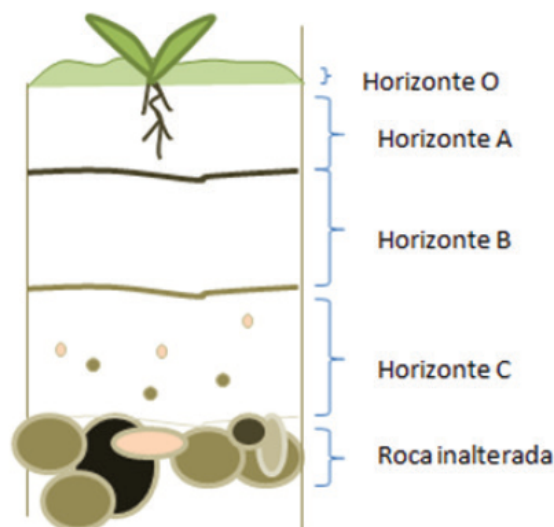
### 2.1. Suelo

El suelo es un recurso natural no renovable y se considera un ser vivo. Se forma a partir de la intemperización de las rocas que se desmoronan y se convierten en partículas pequeñas con la acción de procesos erosivos a través del tiempo, el viento, calor, frío, lluvia y sequía. Es un proceso lento y se necesitan de miles de millones de años para su formación. Según la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2013), se define como suelo al producto final de la influencia del tiempo que, combinado con el clima, la topografía, organismos como la flora y fauna, materiales como rocas y minerales que pueden diferir en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades fisicoquímicas y biológicas. Los minerales constituyen el 50% y son los principales componentes del suelo, seguidos del agua y el aire que ocupan entre el 25 y el 50%, la materia orgánica que ocupa entre el 3 y el 6% según el lugar geográfico en donde se forman y los organismos vivos el 1% del volumen total de suelo (Rojas, 2015: FAO, 2013).

El suelo se compone de una fase sólida y una fase no sólida (líquida y/o gaseosa). La fase sólida está constituida principalmente por componentes inorgánicos que son mezclas de compuestos que provienen de la meteorización de las rocas y producen los minerales primarios y secundarios que forman el suelo. Los minerales que se encuentran en el suelo son: carbonatos, haluros, sulfatos, sulfuros, óxidos e hidróxidos de aluminio, óxidos de hierro, silicatos y fosfatos. De igual manera, aunque en menor proporción, en la fase sólida se encuentra la materia orgánica que altera de manera significativa las propiedades del suelo y se incluyen residuos animales y vegetales, organismos y sustancias sintetizadas de los mismos. La fase líquida y gaseosa son compuestos dinámicos que ocupan los espacios que deja la fase sólida llamados poros, que le dan la propiedad de porosidad. Está constituida por el agua del suelo y sus electrólitos que

están disueltos en gases y sustancias orgánicas solubles. Se considera al suelo el conjunto de las tres fases: sólida, líquida y gaseosa, en donde se distinguen los componentes minerales, materia orgánica, agua y aire ligados y mezclados para tener un medio ideal para el crecimiento de las plantas (Navarro & Navarro, 2014; Adams, 1995; Fassbender & Bornemisza, 1994).

Cuando las rocas se desintegran con el paso del tiempo se empiezan a formar distintas capas de profundidad que a las que se les denominan horizontes. La primera capa del suelo se conoce como horizonte O es la parte superficial del suelo y se compone por materia orgánica viva y en descomposición. Posteriormente sigue el horizonte A, y es de varios centímetros de profundidad. En esta capa se encuentra la máxima actividad biológica como lombrices, insectos microorganismos, materia orgánica, iones metálicos y arcillas que pueden ser lixiviados hacia las siguientes capas. La tercera capa llamada horizonte B, en donde se encuentran los lixiviados mencionados anteriormente, color claro por la menor cantidad de materia orgánica y sales. En el horizonte C se encuentran rocas erosionadas, de donde el suelo proviene y el último horizonte funciona como una base para las demás capas. En la Figura 1 se muestran los horizontes que conforman al suelo (FAO, 2013; Manahan, 2000).



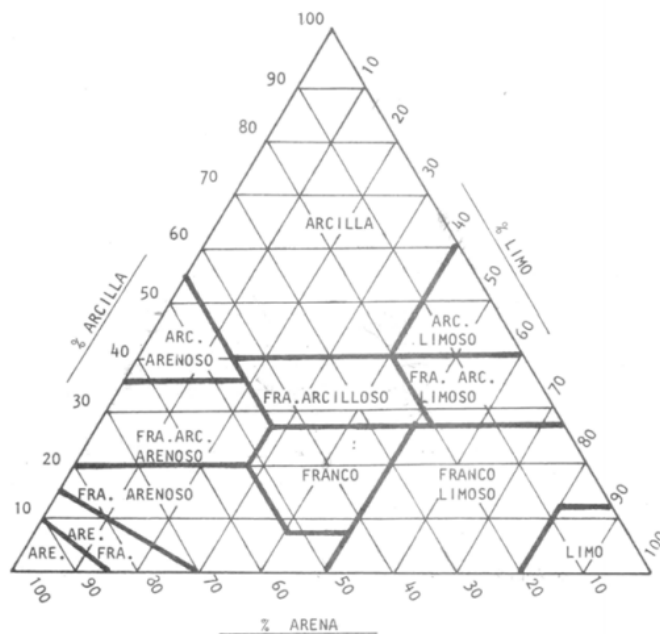
**Figura 1.** Horizontes del suelo. (FAO, 2013).

Las prácticas de agricultura y el suelo están fuertemente ligadas. La agricultura es la producción de comida mediante cultivos que proveen los requerimientos básicos para la alimentación. La agricultura es esencial para la vida humana y en general de todos los seres vivos, pero el desplazamiento de plantas nativas, la destrucción del hábitat, erosión, el uso de plaguicidas, fertilizantes y otros aspectos de la agricultura tienen un enorme impacto en la contaminación ambiental (Manahan, 2000).

### 2.1.1. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos determinan el uso que se lo podrá dar al mismo, por la facilidad de crecimiento de las raíces, aireación, capacidad de drenaje, almacenamiento de agua y la retención de los nutrientes. Estas propiedades se pueden observar, oler y reconocerse a simple vista y las más importantes son las siguientes:

- Porosidad: el suelo no ocupado por los sólidos se denomina espacio poroso. Dentro del espacio poroso se encuentra el macroporos que son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, mientras que los microporos retienen el agua que estará disponible para las plantas. La porosidad total es la suma de los macroporos y microporos (Rucks *et al.*, 2004).
- Textura: Cuando el suelo es capaz de la fijación radicular de las plantas y su nutrición se dice que tiene una buena textura. La textura del suelo se separa en tres clases denominados arena, limo y arcilla. Las fracciones gruesas que son las arenas carecen de la capacidad de retención de agua y como el espacio entre sus partículas es grande tienen buen drenaje y movimiento de aire. Las partículas de arcilla son laminares y plásticas cuando se encuentran húmedas, mientras que el limo tiene una forma irregular en donde el cuarzo es el mineral dominante. Para poder determinar la textura del suelo se utiliza el triángulo que se observa en la Figura 2. Un lado corresponde al porcentaje de limo, el segundo al porcentaje de arcilla y el último al porcentaje de arena, dentro está dividido en áreas que corresponden a las diferentes clases texturales. Para conocer la textura se localizan los porcentajes de limo, arcilla y arena y se proyecta una línea paralela hacia el interior, en el lugar en donde se crucen las líneas marcadas será la textura del suelo analizado (Rucks *et al.*, 2004).



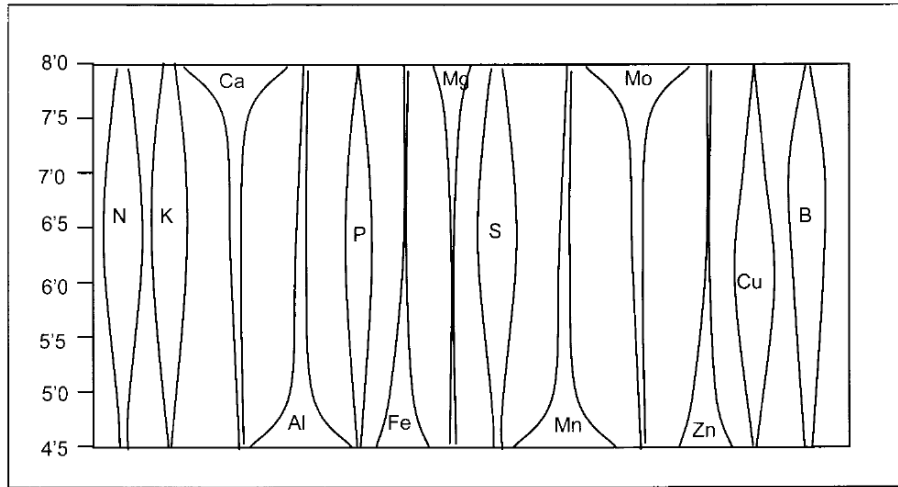
**Figura 2.** Triángulo textural para conocer la textura del suelo (Rucks *et al*, 2004).

- **Color:** generalmente los primeros horizontes del suelo tienen un color oscuro por su contenido de materia orgánica, mientras el suelo es más profundo se aclara su color. El color depende del contenido de materia orgánica, humedad y la oxidación de los minerales presentes (FAO, 2013).
- **Permeabilidad:** es la facilidad con la que el agua se mueve dentro del suelo, cuando tiene un alto índice de permeabilidad el agua se infiltrará rápido, mientras que si el suelo se encharca tendrá una permeabilidad lenta (FAO, 2013).
- **Humedad:** es la cantidad de agua por volumen de suelo, debe de controlarse regularmente porque si existe mucho o poca humedad del suelo puede perjudicar a los cultivos (FAO, 2013).

### 2.1.2. Propiedades químicas del suelo

- **pH:** es el grado de acidez o alcalinidad de un suelo que se expresa en la escala del pH. Un pH óptimo para obtener mejor rendimiento por que los nutrientes se asimilan fácilmente es entre 6.5 y 7.0. Los suelos ácidos no retienen los macronutrientes como el calcio, magnesio y fósforo, pero son mejor absorbidos los micronutrientes. En un suelo básico el fósforo reacciona con la alta

concentración de calcio formando fosfatos cálcicos que no son aprovechables por las plantas. El hierro, manganeso, cobre y zinc se encuentran disponibles a pH inferior a 5. El boro es soluble a pH de 5-7 y se reduce a pH mayores a 8, en la Figura 3 se muestra la disponibilidad de los nutrientes en el suelo en función del pH (Catalán, 2016; Navarro & Navarro, 2014).



**Figura 3.** Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo (Navarro & Navarro, 2003).

Según la Norma Oficial Mexicana 021 la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta en el Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación del suelo por su valor de pH, según la Norma Oficial Mexicana 021 (SEMARNAT, 2002).

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

- Fertilidad: es la capacidad de mantener los nutrientes, y para conservar su fertilidad es necesario evitar las pérdidas por erosión, rotación de los cultivos, mantener la materia orgánica y una alta actividad biológica. La erosión del suelo es una amenaza en la sustentabilidad alimentaria, porque como se mencionó anteriormente el suelo es un recurso limitado. La erosión es un proceso complejo que ocasiona las pérdidas físicas, químicas y biológicas del mismo. Esto a su vez perjudica la calidad del suelo, y afecta principalmente la falta de nutrientes y agua limitando su rendimiento (Cotler, Corona, Galeana-Pizaña, 2020; FAO, 2013).
- Macronutrientes: su presencia en el suelo es indispensable para el desarrollo de las plantas y se deben encontrar en mayores cantidades. Los elementos que conforman los macronutrientes son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S) (FAO, 2013).
- Micronutrientes: son indispensables para el desarrollo de las plantas, pero son requeridos en pequeñas cantidades y la falta de estos ocasiona desórdenes fisiológicos. Los micronutrientes, están conformados por el hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso, (Mn), cloro (Cl), molibdeno (Mo), boro (B), níquel (Ni), zinc (Zn) (FAO, 2013).

### 2.1.3. Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo es solo una pequeña parte de fase sólida, pero agregarla desempeña una gran función para mejorar la productividad de suelo, es una práctica antigua utilizada desde hace siglos por los agricultores. En general la materia orgánica es de gran importancia en el suelo por que regula los procesos que ocurren en él, influye en las propiedades físicas, química y biológicas, desde los microorganismos y microflora hasta las raíces de las plantas y fauna. La materia orgánica tiene efecto sobre las siguientes propiedades del suelo (Navarro & Navarro, 2014; Fassbender & Bornemisza, 1994):

#### 1. Propiedades físicas:

- a) Contenido de humedad: ayuda al uso eficiente del agua porque reduce la pérdida del agua por evaporación del suelo, estimula el desarrollo de raíces

- más profundas, promueve el aprovechamiento del agua y por lo tanto una mejor germinación de las semillas.
- b) Color: a materia orgánica influye en el color del suelo, dándole un color más oscuro lo que ayuda a la absorción de la energía solar y se obtiene una mayor temperatura que resulta favorable en las plantas.
  - c) Agregación y estabilidad de agregados: a la combinación de las partículas de arena, limo y arcilla se le llaman agregados. La materia orgánica contribuye a que las partículas se unan para que en el suelo se formen por los poros, que ayudaran al crecimiento saludable del cultivo.
2. Propiedades químicas:
- a) Retención de cationes: controla la disponibilidad de nutrientes como potasio, magnesio, calcio y amonio que están involucrados en el desarrollo de los cultivos.
  - b) Fuente de nutrientes: en particular ayuda a la liberación de nitrógeno, fósforo y azufre y los micronutrientes disponibles para las plantas.
3. Propiedades biológicas: la materia orgánica funciona como un sustrato para los microorganismos que habitan en el suelo y ayuda a generar una gran actividad biológica.

## **2.2 Análisis de suelo y NOM-021-RECNAT-2000**

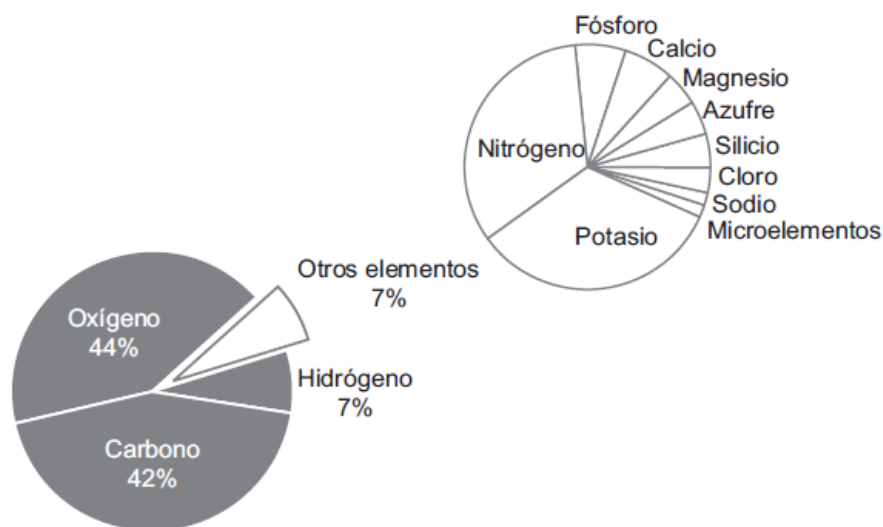
Los análisis del suelo se deben realizar periódicamente para conocer las propiedades físicas y químicas para tener un plan de fertilización que sea adecuado para cada tipo de suelo y para cada tipo de cultivo, para evitar que los cultivos sufran de desórdenes fisiológicos y nutricionales que afectan su desarrollo y rendimiento (FAO, 2013):

- Evaluar la fertilidad natural del suelo.
- Proporciona información necesaria para la utilización de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

El análisis del suelo se realiza siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo. Estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2002).

### 2.3 Nutrientes necesarios para las plantas

Las plantas se componen entre el 94 y 99% de tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno. El carbono y oxígeno se fija directamente de gases que componen la atmósfera a través de la fotosíntesis que realizan las plantas en presencia de luz solar y el hidrógeno del agua del suelo. Pero las plantas no pueden desarrollarse únicamente utilizando agua y aire, necesitan de ciertos elementos químicos que son proporcionados por los minerales del suelo. Estos elementos son aproximadamente el 7% de la planta, pero son esenciales para su nutrición, esta clasificación se puede observar en la Figura 4. Los elementos se dividen en macronutrientes y micronutrientes (Navarro & Navarro, 2014; FAO, 2002).



**Figura 4.** Promedio de la composición elemental de las plantas (FAO, 2002).

Los macronutrientes principales que necesitan las plantas en mayor cantidad son Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesios (Mg), y azufre (S) (Beltrán-Morales *et al.*, 2019). Seguidos de los elementos en cantidades relativamente pequeñas, llamados micronutrientes como el hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo),

Cobre (Cu), zinc (Zn), cloro (Cl) y níquel (Ni). En el Tabla 2 se observan las formas iónicas en que se deben encontrar los nutrientes para que puedan ser absorbidos por las plantas. La mayoría de los minerales del suelo provienen de la meteorización de las rocas a excepción del nitrógeno que proviene de la fijación de nitrógeno atmosférico o descomposición de compuestos orgánicos por microorganismos (Navarro & Navarro, 2014).

**Tabla 2.** Formas iónicas de los nutrientes esenciales para las plantas (Navarro & Navarro, 2014).

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno: $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$	Hierro: $\text{Fe}^{+2}$ , $\text{Fe}^{+3}$
Fósforo: $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ , $\text{PO}_4\text{H}^{-2}$	Manganeso: $\text{Mn}^{+2}$ , $\text{Mn}^{+4}$
Potasio: $\text{K}^+$	Boro: $\text{BO}_3\text{H}_2^-$ , $\text{BO}_3\text{H}^{-2}$
Azufre: $\text{SO}_3^{-2}$ , $\text{SO}_4^{-2}$	Molibdeno: $\text{MoO}_4$
Calcio: $\text{Ca}^{+2}$	Cobre: $\text{Cu}^+$ , $\text{Cu}^{+2}$
Magnesio: $\text{Mg}^{+2}$	Zinc: $\text{Zn}^{+2}$
	Cloro: $\text{Cl}^-$

Es importante conocer el balance de los nutrientes en los fertilizantes porque los macronutrientes mencionados anteriormente son los principales elementos en la fertilización y los que causan mayor contaminación. Cuando los fertilizantes contienen nutrientes en poca o nula concentración se verá afectado el rendimiento de la planta (Beltrán-Morales *et al.*, 2019). Cuando los nutrientes existen en concentraciones más altas de los que el cultivo puede absorber se verá afectado el medio ambiente por la lixiviación de los nutrientes. El nitrógeno es el elemento que se aplica en mayor proporción y el de menor eficiencia porque solo el 50% de la aplicación es absorbida por las plantas, el exceso causa contaminación de los mantos acuíferos con nitritos y nitratos,

eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global. Seguido del fósforo que puede contener cantidades de cadmio, dependiendo de la roca en donde fue extraído el fósforo y causar toxicidad en las plantas (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010).

### 2.3.1 Nitrógeno (N)

Las plantas utilizan al nitrógeno en dos formas asimilables que son nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), utilizan al nitrógeno para la creación de aminoácidos, proteínas, clorofila, y ácidos nucleicos (Beltrán-Morales *et al.*, 2019). Para poder llegar a estas formas asimilables, ocurre una serie de pasos que componen el ciclo del nitrógeno. El nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) se fija de 3 maneras, fijación industrial, atmosférica y biológicas, la más importante es la última. La fijación biológica se da principalmente en bacterias que se encuentran en el suelo. Se da por las conversiones de  $\text{N}_2$  a amoniaco o nitratos utilizando la enzima nitrogenasa para su fijación (ciclo del nitrógeno). También las formas asimilables se obtienen de la amonificación, en donde otro grupo diferente de bacterias utiliza el nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, etc.) contenido en la materia orgánica de plantas y animales muertos como sustrato para obtener nitrógeno inorgánico ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) (Lamprea *et al.*, 2015). Cuando el nitrógeno ya se encuentra en estas formas mediante su sistema radicular las plantas absorben nitrógeno para la síntesis de sus tejidos (Navarro & Navarro, 2014).

También las plantas pueden tener alteraciones por la deficiencia de este nutriente. La falta de nitrógeno afecta principalmente en el crecimiento de la planta, planta débil, hojas pequeñas y de color verde amarillento. Si la planta desarrolla frutos, la falta de nitrógeno tendrá una maduración acelerada del fruto. Aunque la deficiencia de nitrógeno en la agricultura es poco probable por que los productores utilizan ampliamente los fertilizantes nitrogenados llegando a abusar de los mismo (Navarro & Navarro, 2014).

### 2.3.2 Fósforo (P)

El fósforo constituye un componente primario para el almacenamiento y transferencia de energía, y como componente estructural de las células de las plantas. El fósforo no necesita de una fijación biológica como el nitrógeno, se incorpora al suelo por la meteorización de las rocas. Las plantas absorben el fósforo principalmente en forma de

ion ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) o como ortofosfato secundario ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). El pH influye en la absorción del fósforo por la planta, porque cuando se tienen valores de pH básicos, los iones ortofosfato se precipitan al reaccionar con cationes como calcio o magnesio, en el caso contrario al existir valores ácidos de pH reaccionan con cationes como el fierro, manganeso, y aluminio aumentando su solubilidad, formas que no podrán ser asimilables por las plantas (Herrera, 2020; Fernández, 2007).

En la materia orgánica existen compuestos fosfatados de gran relevancia: como para la estructura celular en forma de fosfolípidos, en los ácidos nucleicos que componen el DNA, y en las reacciones que utilizan energía para almacenarla en forma de ATP (adenosín trifosfato) (Fernández, 2007).

Cuando el fósforo se encuentra soluble o precipitado en el suelo y no se pueden absorber puede existir deficiencia de este nutriente en la planta, causando problemas en el crecimiento por la síntesis de los compuestos estructurales. Dentro de la planta es fósforo de mueve fácilmente por lo que las hojas antiguas son las primeras en tomar un color rojizo y caerse porque las hojas jóvenes obtienen el fósforo de ellas (Navarro & Navarro, 2014; Fassbender & Bornemisza, 1994).

### 2.3.3 Potasio (K)

El potasio es un elemento esencial en las plantas porque mantiene el potencial osmótico de las células y ayuda en la estimulación de enzimas y procesos metabólicos de la planta. Es absorbido por las plantas en su forma iónica ( $\text{K}^+$ ). En el suelo el potasio proviene de dos fuentes, los fertilizantes utilizados y por las desintegración de las rocas que contienen minerales potásicos, aunque entre el 90 y 98% del potasio del suelo se encuentra en formas no asimilables por las plantas formando parte de las redes cristalinas de minerales primarios que con el tiempo y diversos procesos pueden degradarse hasta liberarse iones de potasio para ser utilizados por los organismos (Jiménez & García-Seminario, 2017; Navarro & Navarro, 2014).

En la deficiencia de potasio se presentan hojas con un color amarillo en el borde, en casos más avanzados se muestra necrosis en los bordes mientras que las hojas jóvenes

solo presentan clorosis leve. El exceso de potasio puede causar deficiencias de calcio y de magnesio y una clorosis leve (Novoa, Miranda & Melgarejo, 2018).

#### 2.3.4 Azufre (s)

El mayor porcentaje de azufre proviene de la degradación de los sulfuros metálicos, en condiciones aerobias que se oxidan a sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) forma en las que las plantas pueden absorber este nutriente. El azufre orgánico se encuentra en las proteínas, como los aminoácidos que contienen azufre, que pueden ser encontrados en los suelos por la descomposición de la materia orgánica (Fassbender & Bornemisza, 1994). La absorción de este nutriente también es importante porque cuando se encuentra en bajos niveles en el suelo la absorción de nitrógeno es limitada (Ventimiglia & Torrens, 2019).

El azufre como fertilizante se emplea en muchos países, pero puede llegar a considerarse tóxico para el cultivo cuando contiene una concentración mayor a 1000 ppm de  $\text{SO}_4^{-2}$  (Navarro & Navarro, 2014).

#### 2.3.5 Calcio (Ca)

La planta utiliza al calcio para su desarrollo radicular en donde ejerce tres funciones: multiplicación celular, crecimiento celular y neutralización de los iones hidrogeno. También se le atribuye que ayuda en la absorción del nitrógeno. Este nutriente es absorbido por la planta bajo su forma iónica de  $\text{Ca}^{+2}$  y forma parte de las hojas, frutos, tallos y raíces de las plantas, en promedio aproximadamente 10 g de cada kilo de fruto obtenido resultan ser de calcio (Rincón & Martínez, 2015; Navarro & Navarro, 2014).

#### 2.3.6 Magnesio (Mg)

La planta absorbe al magnesio en su forma iónica ( $\text{Mg}^{+2}$ ) y es un constituyente importante la molécula de la clorofila que es un pigmento esencial para que las plantas puedan llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Las plantas también utilizan al magnesio como coenzimas, como en la síntesis del ADN y ARN, en donde el magnesio actúa como puente de unión entre el grupo fosfato y la enzima formando un complejo quelado. A diferencia del calcio, el magnesio es móvil dentro de la planta, por lo que se traslada de las hojas adultas a las jóvenes. Cuando existe deficiencia de este nutriente las hojas adultas son las primeras en mostrar síntomas como clorosis en algunas zonas, colores

purpuras en las hojas y las hojas se desprenden prematuramente de las hojas (Navarro & Navarro, 2014; Fassbender & Bornemisza, 1994).

### 2.3.7 Hierro (Fe)

El hierro es un esencial para las plantas porque es un nutriente que necesitan la mayoría de los organismos. Este nutriente es necesario para la producción de clorofila y elemento requerido para dar estructura al cloroplasto. Aunado a esto es vital para llevar a cabo el proceso de respiración y fijación de nitrógeno. El hierro es utilizado por la planta para la síntesis de ADN y reducción de sulfatos (López, 2000).

Para que la planta pueda mantener una buena homeostasis del hierro, esta debe adaptarse a diferentes mecanismos de captación del elemento, cuando existe una deficiencia de Fe, las plantas permanecen no eficientes y tienen la capacidad de desarrollar mecanismos de adaptación para elevar captación de hierro del suelo (Andaluz, 2005).

### 2.2.8 Cobre (Cu)

En las plantas existen proteínas que contienen cobre y presentan un papel importante porque son requeridas para llevar a cabo la fotosíntesis y respiración de las plantas. Cuando existe un déficit de cobre las enzimas y su actividad se ven reducidas drásticamente, como secuela una proteína la cual presenta cobre se ve afectada y se reduce la adherencia de CO<sub>2</sub>, por lo que las cantidades de almidón y carbohidratos en la planta también se reducen (Kyrkby & Römheld, 2007).

Las plantas absorben el cobre como un ion divalente en los suelos aireados y como un ion monovalente en suelos que son húmedos y con una menor concentración de O<sub>2</sub>. El transporte de cobre es por medio de la membrana plasmática y por canales a través de la endodermis que llegan directamente al tejido vascular. Estudios han identificado proteínas transportadoras de cobre, las cuales reciben el nombre de COPT (por sus siglas en inglés, Copper transporters) como por ejemplo la COPT1-6 en *Arabidopsis thaliana* (Villegas, Domínguez, Martínez & Aguilar, 2005).

### 2.3.9 Manganese (Mn)

El manganeso dentro de la planta es considerado inamovible y la disponibilidad de este se ve influenciada por agentes del suelo que intervienen en procesos de óxido reducción, generalmente el pH. La disponibilidad del manganeso es más alta en suelos ácidos por la solubilización de componentes y compuestos que contienen Mn. Este elemento dentro de las plantas es vital para procesos en síntesis de proteínas, metabolismo del nitrógeno y carbohidratos (Gómez, López, & Cifuentes, 2006).

Es un micronutriente importante pues interviene en la formación del polen, crecimiento del tubo polínico, alargamiento celular de la raíz y permite a la planta resistir a diferentes patógenos (Mayorga, 2020).

### 2.3.10 Cloro (Cl)

Este elemento funciona como nutriente necesario en pequeñas cantidades para el proceso de oxigenación durante el proceso de fotosíntesis, el cloro interviene en la regulación del potencial hídrico u osmótico de las células y forma parte de enzimas (López, 2016).

Cuando existe una concentración elevada de Cl se empiezan a producir quemaduras y manchas amarillentas en las hojas de las plantas, perjudica directamente a la planta inhibiendo la absorción de nitratos y fotosíntesis (Villa, Catalán, Inzunza, & Ulery, 2006).

### 2.3.11 Molibdeno (Mo)

Para que las plantas aprovechen este micronutriente es necesario que exista una disponibilidad en el suelo de Mo, este elemento es necesario para la fijación de nitrógeno y la formación de la enzima nitrogenasa y nitrato reductasa. Es absorbido por las plantas como molibdato y su movilidad dentro de la planta es baja. Una planta con un déficit de Molibdeno presentara un incremento en la acumulación de nitratos y una menor concentración de compuestos amino solubles (Navarro & Navarro, 2014).

### 2.3.12 Boro (B)

El Boro juega un papel importante en la biosíntesis y la estructura de la pared celular, así como en dar integridad a la membrana plasmática, participa en el transporte de

azúcares, lignificación de la pared célula y síntesis de ácidos nucleicos (Martínez, Sarmiento, Fischer & Jiménez, 2009).

### 2.3.13 Níquel (Ni)

En el año 2004 la Asociación Americana Oficial de Control de Nutrimientos Vegetales reconoció el níquel como un micronutriente esencial para los vegetales, pues presenta un vínculo con la enzima ureasa. La absorción del níquel en las plantas es llevada por difusión pasiva y transporte activo, dependerá de la especie vegetal y la concentración de níquel presente en el suelo (Rodríguez, Ojeda, Blanco, Valdez & Parra, 2016).

El níquel compete con diversos iones metálicos cuando es absorbido por la raíz de la planta. Estudios han revelado que este micronutriente se absorbe mediante la absorción del hierro a través de un transporte primario del Fe (At1RT1), este elemento es abastecido por las partes meristemáticas de la planta de las hojas más viejas a las más jóvenes, en este transporte participan proteínas específicas como la nicotianamina, histidina y ácidos orgánicos que actúan como quelatores intracelulares (Villegas, *et al.*, 2005).

### 2.3.14 Zinc (Zn)

El zinc dentro de las plantas influye en el proceso de fotosíntesis, siendo un factor sustancial de diversos sistemas de enzimas para producir energía, regulación de síntesis de proteínas y el mantenimiento de la raíz. Se plantea que este factor tiene un papel para resistir organismos patógenos. Los indicios de toxicidad por zinc incluyen la clorosis y desarrollo limitado de la planta (Casierra & Poveda, 2005).

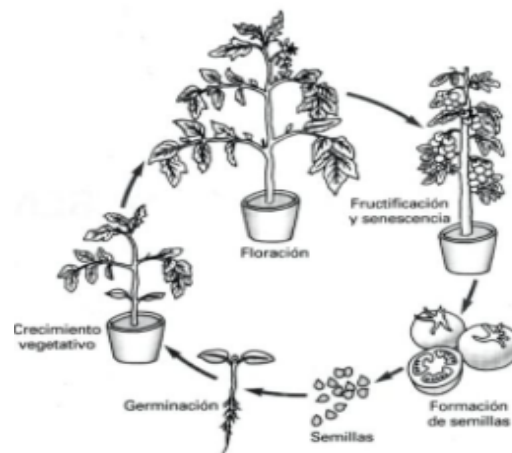
El déficit de zinc se puede manifestar en los suelos de distintas clases de textura y valores de pH, siendo más recurrente en esos suelos que fueron erosionados y que han perdido su horizonte superficial. Los indicios más comunes de déficit de este elemento se presenta en las plantas como clorosis, manchas necróticas en las hojas, hojas enanas y deformidades en la planta, el zinc es absorbido por medio de la raíz primordialmente como  $Zn^{+2}$  y condicionado por una proteína con afinidad a este micronutriente (Otero, 2005).

## 2.4 Ciclo vegetativo de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (tomate cherry).

El ciclo vegetativo es la secuencia completa del desarrollo de un cultivo. El tomate es una planta vascular que produce semillas, denominadas espermatofitas y están formadas por órganos vegetativos como: raíz, tallo y hojas y por sus órganos reproductivos: portadores de semilla y frutos. En la Figura 5, se observan las etapas del crecimiento y desarrollo de la tomatera (Moreno, 2019).

Órganos vegetativos:

1. Raíz: La raíz es la primera estructura que se forma durante la germinación, y es un órgano de gran importancia para las plantas vasculares porque tiene dos funciones, la primera es de anclaje al suelo y la segunda de absorción de agua y nutrientes del suelo que necesitan las plantas para realizar la fotosíntesis.
2. Tallo: El tallo es el órgano vegetal que transporta los micronutrientes y macronutrientes, el agua, y los compuestos azucarados hacia las hojas y los frutos.
3. Hoja: La hoja es un órgano de crecimiento limitado. Entre sus principales funciones se destaca la realización de la fotosíntesis en donde la planta transforma, con ayuda a la energía solar, la materia inorgánica ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y sales minerales) en materia orgánica (glúcidos, lípidos y proteínas).

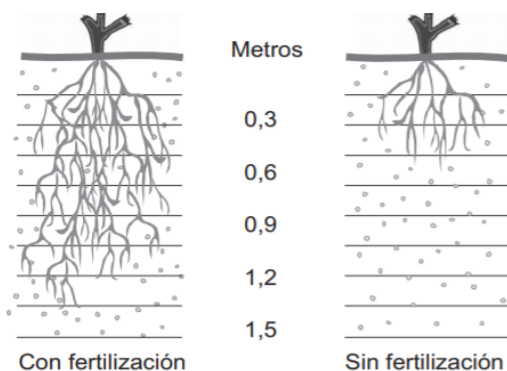


**Figura 5.** Etapas en el crecimiento y desarrollo de la tomatera (Moreno, 2019).

## 2.5 Fertilizantes

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura [FAO] (2019) define a los fertilizantes como: “sustancia que se emplea para proporcionar nutrientes a las plantas, normalmente a través de su aplicación en el suelo, pero también en el follaje o a través del agua en los sistemas de riego, la fertiirrigación o el cultivo hidropónico, o en operaciones de acuicultura”. A los agricultores, productores, entre otros se les llama usuarios de fertilizantes, son los que aplican los fertilizantes con el fin de que los nutrientes estén disponibles para la absorción por las plantas.

Las actividades agrícolas tienen dos objetivos principales, el primero es el de suministrar a la población los alimentos suficientes aun y cuando esta siga incrementando y su segundo objetivo es que los agricultores y su familia tengan un pago justo por su trabajo. Para lograr estos objetivos los usuarios de fertilizantes utilizan la fertilización para aumentar los rendimientos de los cultivos. Para analizar el rendimiento de los fertilizantes se pueden utilizar diferentes cantidades de fertilizantes para determinar con cual cantidad es la que se obtienen mejores rendimientos porque una fertilización excesiva puede causar lixiviación de nutrientes, mientras que una fertilización insuficiente causa que los cultivos no se desarrollen adecuadamente como se observó en la deficiencia de cada nutriente (Moreno, 2019). En la Figura 6 se muestra, la profundidad de las raíces cambia dependiendo si existe fertilización o no, en suelos con baja fertilidad, los fertilizantes aumentaran la profundidad de las raíces (FAO, 2002).



**Figura 6.** Crecimiento radicular de los cultivos comparándose un suelo con fertilización en contra de uno sin fertilización (FAO, 2002).

### 2.5.1 Fertilizantes inorgánicos

La FAO (2019) define a los fertilizantes inorgánicos como: “un fertilizante rico en nutrientes producido industrialmente a través de procesos químicos de la extracción de minerales o por molido mecánico”.

Los fertilizantes inorgánicos, son también conocidos por el nombre de fertilizantes químicos o fertilizantes comerciales y tienen la posibilidad de ser sintéticos derivados de minerales. La primordial virtud de estos fertilizantes es que los nutrientes permanecen disponibles para ser utilizados por las plantas de manera instantánea, además de las cantidades precisas de cualquier componente se tiene la posibilidad de calcular dicho nutriente que puede ser suministrado a las plantas de manera cuantificada como por ejemplo un fertilizante que es “12-11-2” supone que 12% es N (nitrógeno), 11% es P (fósforo) y 2% es K(potasio). Una desventaja que presentan los fertilizantes químicos es en especial el nitrógeno, ya que se escurre fácilmente por debajo de las raíces por medio de la lluvia o riegos. Dichos productos no tienen más nutrientes especificados en la etiqueta. Una mala aplicación a las plantas puede provocar que la planta sea dañada por las sales químicas del fertilizante. Finalmente, las aplicaciones desmesuradas de los fertilizantes inorgánicos tienen la posibilidad de provocar un incremento de sales tóxicas en el suelo, construyendo un suelo con desequilibrio de nutrientes y micronutrientes necesarios (Lindner, 2014).

### 2.5.2 Fertilizantes orgánicos

La FAO (2019) define a los fertilizantes orgánicos como: *“fertilizante rico en carbono obtenido de materiales orgánicos como son, el estiércol animal tratado o sin tratar, el compost, el vermicompost, el fango cloacal y otros materiales orgánicos o materiales mezclados utilizados para suministrar nutrientes a los suelos”*. Se pueden utilizar todas las fuentes disponibles de nutrientes en los excrementos de vaca, cerdos, cordero, pollo, desperdicios vegetales, pero deben ser descompuestos antes de su aplicación, ya que los nutrientes no estarán disponibles para las plantas sin su previo tratamiento (FAO, 2002).

Los productores agrícolas cada vez aceptan más la alternativa de utilizar biofertilizantes especialmente en biofertilizantes líquidos porque pueden aplicarse incluyéndose en el agua de riego, no requieren de equipo especializado para su almacenamiento y en su aplicación y es más fácil controlar la cantidad aplicada (Armenta-Bojórquez *et al*, 2010).

### 2.5.3 Sinergismo en la utilización de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

El sinergismo es el efecto en el que dos o más sustancias que actúan unidas, dan como resultado una respuesta mayor a las respuestas que tendrían por separado (Salvagiotti, 2010). Aun cuando los fertilizantes orgánicos no tengan la cantidad de nutrientes necesarios, tienen una utilidad muy valiosa porque mejoran las condiciones del suelo, como su estructura, reducen la erosión, regulan la temperatura, y mejoran la fertilidad. La combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos por sus propiedades descritas anteriormente ofrecen condiciones idóneas que en conjunto proveen los nutrientes necesarios para las plantas (FAO, 2002).

## 2.6 Lombricomposta y sus lixiviados como biofertilizante

Según la Norma Mexicana 109 del año 2007, define a la lombricomposta como “*el producto que resulta de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada lombricultura*”. La lombricomposta está compuesta del humus de lombriz que es un material similar a la tierra, producido por las lombrices a partir de residuos orgánicos, tiene una gran cantidad de macro y micronutrientes y es utilizado como mejorador de suelos (Ramos *et al.*, 2018).

Entre los principales beneficios de la lombricultura están: procesar residuos que causarían contaminación, evitar que los residuos orgánicos se acumulen en basureros, se puede utilizar como fertilizante por ser alto en nitrógeno, potasio, fósforo y magnesio, como en micronutrientes necesarios para los cultivos (Ramos *et al.*, 2018).

### 2.6.1 NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta)- Especificaciones y métodos de prueba.

El objetivo de la norma es establecer las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio nacional. Según la norma “se designa como humus de lombriz, única y exclusivamente al material orgánico resultante de la crianza de lombrices alimentadas con residuos orgánicos, con olor, y color característico, que cumple con las especificaciones de calidad descritas en la presente norma mexicana”. En la norma encontramos las especificaciones como la clasificación del producto y las especificaciones del humus de lombriz como se observa en el Tabla 3 (SCFI, 2007).

**Tabla 3.** Especificaciones fisicoquímicas para la lombricomposta (SCFI, 2007).

Característica	Valor
Humedad	20 a 40 % (sobre materia húmeda)
pH	5.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS/m

En todos los grados de calidad el producto debe cumplir con las especificaciones microbiológicas establecidas en la norma como se observan en el Tabla 4.

**Tabla 4.** Limite máximos permisibles para las especificaciones microbiológicas. NMP (número más probable) (SCFI, 2007).

Microorganismo	Tolerancia
<i>Escherichia coli</i>	≤ 100 NMP por g en base seca
<i>Salmonella</i> spp	3 NMP en 4 g, en base seca
Huevo de helmintos viables	1 en 4 g, en base seca
Hongos fitopatógenos	Ausente

## 2.7 Fundamentos de Espectroscopia de fluorescencia de rayos X.

La fluorescencia de rayos X es una técnica analítica no destructiva, que analiza una muestra generalmente en estado sólido, al ser expuesta a una radiación de rayos X. Este equipo cuenta con tres partes fundamentales: la fuente que genera los rayos X generalmente un tubo o una fuente radiactiva, un detector que intercambia los rayos X emitidos por la muestra en una señal que puede ser medida y una unidad de procesamiento que registra la señal anteriormente generada y calcula la concentración elemental en la muestra (Margui *et al.*, 2011).

Los instrumentos portátiles de fluorescencia de rayos X son una técnica que tiene múltiples y nuevas aplicaciones, utilizada para análisis cualitativos y cuantitativos de múltiples elementos (desde el magnesio hasta el uranio) pero tiene límites de detección más altos que otros métodos habituales en el laboratorio. Esta técnica se puede utilizar como una alternativa para medir la concentración de minerales en el material vegetal de una forma no destructiva. Es necesario que las muestras se sequen, muelen y empaqueten para ser analizados por el equipo (Turner, Chi & Brown, 2018).

### 3 Metodología

La lombricomposta y el lixiviado de la misma fueron proporcionadas por rancho “El Regalo”, ubicado en Ascensión, Chihuahua. Que se elabora utilizando como materia prima orgánica los desechos de ganado ovino, y a la lombriz roja californiana (*Ezenia foetida spp.*) como encargada de digerir estos desechos para generar subproductos ricos en nutrientes que pueden ser utilizados como fertilizantes. En la Figura 7 se muestra la metodología general que se utilizó para conseguir resultados sobre el lixiviado de humus de lombriz utilizado como biofertilizante, los análisis químicos y microbiológicos fueron realizados en el laboratorio ambiental, mientras que los análisis de suelo y evaluación del cultivo con ayuda del laboratorio de geología, ambos laboratorios pertenecientes a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez:

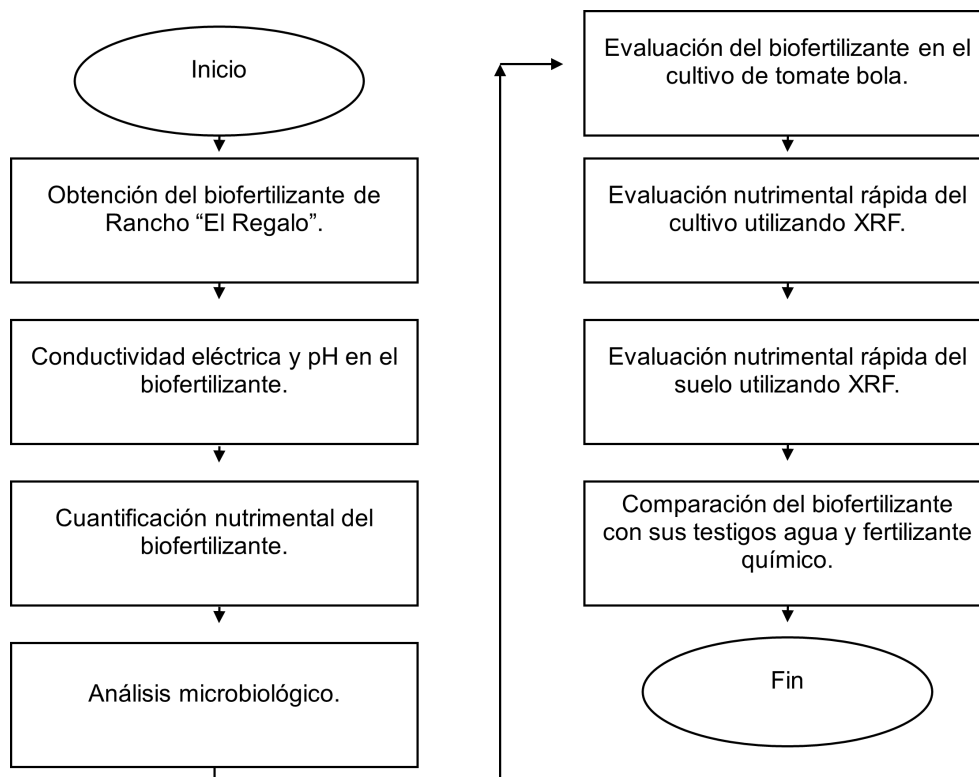


Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología general.

### 3.1 Identificación y cuantificación de micronutrientes y macronutrientes.

La identificación y cuantificación de las concentraciones se realizaron utilizando un espectrofotómetro portátil DR1900 marca HACH (Figura 8), siguiendo la metodología para cada nutriente proporcionada por el equipo (Palacios *et al.*, 2021).



**Figura 8.** Equipo de laboratorio. Espectrofotómetro portátil DR1900 marca HACH.

Para lograr este objetivo el lixiviado de bermicomposta utilizado como biofertilizante se preparó a diferentes concentraciones utilizando agua de grifo como dilución. Se prepararon 500 mL de cada tratamiento como se muestra en el Tabla 5 (Palacios *et al.*, 2021).

**Tabla 5.** Mezclas preparadas con biofertilizante y agua para componer la concentración de cada tratamiento.

Tratamiento	Concentración	Biofertilizante (mL)	Agua (mL)
1	100%	500	0
2	75%	375	125
3	50%	250	250
4	25%	125	375

#### 3.1.1 Macronutrientes.

Nitrógeno: para conocer las concentraciones de nitrógeno en el lixiviado de humus de lombriz, se precalentó el digestor a 105 °C. Mientras se llegaba a la temperatura se preparó la muestra para el análisis utilizando agua destilada como blanco. A los tubos de ensayo se le agregó el contenido de un sobre de reactivo “Total nitrogen persulfate” y 0.5

mL de muestra a un tubo y 0.5 mL de agua destilada al blanco. Se agitaron y se llevaron a digestión durante 30 minutos. Al acabar el tiempo se retiró y dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se agregó el reactivo "Total Nitrogen A", se mezcló y dejó reposar durante 3 minutos. Se repitió el proceso agregando el reactivo "Total Nitrogen B". De la mezcla preparada anteriormente se tomaron 2.0 mL de la muestra y blanco a un segundo tubo de ensayo llamado "Total Nitrogen C", y se mezcló 10 veces esperando 5 minutos a terminar la reacción. En el espectrofotómetro se eligió el programa "394, Total HR TNT", se insertó el blanco y posteriormente la muestra. Se tomaron los datos de concentración de nitrógeno en  $\text{mg L}^{-1}$  para cada tratamiento (HACH Company [HACH], 2015a).

Fósforo: se siguió el método del equipo realizando previamente una dilución 1/10 de la muestra en agua destilada para todos los tratamientos. La concentración del lixiviado de bericomposta se encontraba por arriba del límite de detección del equipo ( $4.50 \text{ mg L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-}$ ). Después se ajustó la temperatura del digestor a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Los viales contienen el reactivo en la tapa por lo que se retiraron las etiquetas y se removió la tapa. Se agregaron 2.0 mL de la muestra al vial y se cerraron con la tapa del lado que contiene el reactivo. Se agitaron de 2 a 3 veces hasta la disolución del reactivo y se llevaron al digestor durante 1 hora. Pasado el tiempo se removió el vial, y espero a que tome temperatura ambiente. Se agitó y agregaron 2.0 mL de la solución B, y se cambió la tapa por otro color gris, seguidamente se mezcló y espero 10 minutos a terminar la reacción. Se seleccionó en el espectrofotómetro el programa "843", se insertó el vial en el equipo y leyó hasta que apareciera la concentración en  $\text{mg L}^{-1} \text{ PO}_4^{3-}$  para cada tratamiento (HACH, 2016).

Magnesio: con relación a este elemento se procedió así: el magnesio se mide en forma de  $\text{CaCO}_3$ . Se debe elegir el programa "225 Hardness, Mg", y medir 100 mL del fertilizante en una probeta graduada, agregar 1.0 mL de indicador de calcio y 1.0 mL de indicador de magnesio, y mezclar. Agregar 1.0 mL de la solución álcali para magnesio, mezclar y pasar la solución preparada a una celdilla. Para el blanco se agregará 1 gota de "EDTA" a la primera celdilla y mezclar. Para la muestra de magnesio agregar "EGTA" a la segunda celdilla y mezclar. Leer para magnesio el blanco hasta que la pantalla

marque “ZERO”, se inserta la celdilla de magnesio y se obtiene el resultado en “mg/L de magnesio en el carbonato de calcio”. (HACH, 2015b).

Potasio: se siguió el método propuesto por el fabricante, pero posteriormente se realizó una dilución 1/100 al tratamiento 25%, 1/200 al tratamiento 50%, 1/300 al tratamiento de 75% y 1/400 al tratamiento de 100%. Se prosiguió con la metodología y se eligió el programa “905 Potassium”. Para preparar la muestra se midieron 25 mL de la muestra con una probeta graduada y se pasaron a un matraz Erlenmeyer (125 mL); se agregó el reactivo “Potassium 1” seguido del reactivo “Potassium 2” y se mezcló. Posteriormente se agregó el reactivo “Potassium 3” y mezcló durante 30 segundos. Para el blanco se utilizó la muestra sin agregar los reactivos de potasio, se dispuso el blanco en una celdilla, y se eligió “Zero” en el equipo hasta que muestre “0.00 mg L<sup>-1</sup> K” en la pantalla. Posteriormente se leyeron las muestras de los tratamientos, y se obtuvo la concentración de potasio en el fertilizante en “mg L<sup>-1</sup> K” (HACH, 2018).

Azufre: con relación al azufre se realizaron diluciones en agua destilada en los tratamientos al 50%, 75%, y 100% en una relación 1/10. Se prosiguió con la metodología marcada por el equipo tomándose el tubo de ensayo que contiene el reactivo y se agregaron 2 mL de muestra utilizando una pipeta Pasteur. Se tomó una cucharada del reactivo A para agregarlo al tubo, se cerró con la tapa y agitó durante un minuto. Pasado el tiempo se insertó el vial en el espectrofotómetro y se observó la concentración de azufre en mg L<sup>-1</sup> (HACH, 2019).

### 3.1.2 Micronutrientes.

Fierro: para el fierro se eligió en el espectrofotómetro el programa “265 Iron, FerroVer”. Para preparar la muestra se llena la celdilla con 10 mL del fertilizante y se agrega el reactivo “FerroVer Iron” mezclar y esperar 3 minutos. Para el blanco agregar en una segunda celdilla 10 mL del fertilizante y leer en el equipo hasta que la pantalla marque “ZERO”, posteriormente leer la celdilla que contiene la muestra en “mg/L Fe” (HACH, 2014a).

Cobre: con relación a este elemento químico, se eligió en el espectrofotómetro el programa “135 Copper, Bicin”, para preparar la muestra llenar la celdilla con 10 mL del

fertilizante y agregar el reactivo “CuVer 1” mezclar y esperar dos minutos. Para el blanco llenar una segunda celdilla con el fertilizante, e ingresar la celdilla en el equipo hasta que marque “ZERO”, esperar 30 minutos y posteriormente leer la celdilla que tiene la muestra en “mg/L Cu” (HACH, 2017).

Manganeso: el proceso fue el siguiente: Se eligió el programa “295 Manganese, HR”, para preparar la muestra se agregarán 10 mL de fertilizante en la celdilla y agregar el reactivo “Citrate”, mezclar. Posteriormente agregar el reactivo “Sodium Periodate”, mezclar y la solución cambiara a un color morado si existe presencia de manganeso. Esperar 2 minutos. Para preparar el blanco, tomar 10 mL de la muestra en una celdilla, e insertar en el equipo, hasta que el equipo marque “ZERO”, posteriormente poner la muestra y leer el resultado (HACH, 2014b).

Cloro: con relación al cloro se eligió en el programa “88 Chlorine F&T HR” en el espectrofotómetro. Para preparar el blanco se utilizaron 5 mL de la muestra y se obtuvo la lectura en el equipo. Posteriormente se preparó la muestra con 5.0 mL del fertilizante, y se añadió el reactivo de “Total Chlorine”, mezclar durante 20 segundos y esperar 3 minutos a que reaccione. Cuando pase el tiempo se inserta la muestra en el equipo y obtienen los resultados (HACH, 2014c).

Molibdeno: se procedió de la siguiente manera: en el espectrofotómetro elegir el programa “320 Molybdenum HR”, para preparar la muestra llenar una celdilla con 10 mL del fertilizante y agregar el reactivo “MolyVer 1” y mezclar, agregar el reactivo “MolyVer 2”, mezclar, agregar el reactivo “MolyVer 3” y mezclar, esperar 5 minutos. Para preparar el blanco llenar una segunda celdilla con el fertilizante y leer en el equipo hasta que la pantalla dicte “ZERO”, posteriormente leer la celdilla con la muestra preparada con anterioridad y leer en “mg/L Mo<sup>6+</sup>” (HACH, 2019b).

Níquel: para el níquel se utilizó el siguiente método llenando una celdilla con 10 mL de agua destilada para el blanco y una segunda celdilla con 10 mL de muestra. A cada una se le agrego el reactivo “Phthalate - Phosphate” y se mezcló. Se agrego 0.5 mL de una solución “0.3% PAN” se mezcló y espero durante 15 minutos a que terminara la reacción. Pasando el tiempo se agregó el sobre que contiene “EDTA” a cada celdilla y

mezclo. En el espectrofotómetro se eligió el programa “340 Nickel, PAN” se insertó el blanco y posteriormente la muestra que se analizó su concentración en mg L<sup>-1</sup> (HACH, 2014d).

Zinc: para zinc, el método fue el siguiente: el espectrofotómetro portátil DR 1900, se programó en “780 Zinc”. En una probeta graduada se midieron 20 mL de muestra, se pasaron a un matraz Erlenmeyer (125 mL) se le agregó el reactivo “ZincoVer5” y mezcló hasta que el reactivo se disolvió. Para la preparación del blanco se agregaron 10 mL de la solución preparada con anterioridad a la celdilla. A la solución remanente en el matraz se le agregaron 0.5 mL de ciclohexanona utilizando una pipeta Pasteur, mezclar vigorosamente durante 30 segundos, posteriormente esperar 3 minutos y pasar esta mezcla a una celdilla. Insertar el blanco en el equipo, elegir “Zero” hasta que la pantalla marque “0.00 mg/L”, insertar la celdilla que contiene la muestra en el equipo y leer los resultados (HACH, 2019c).

## **3.2 Análisis fisicoquímico y microbiológico del fertilizante**

### **3.2.1 Análisis fisicoquímicos**

pH lixiviado:

Procedimiento: los materiales utilizados fueron los mismos utilizados en el pH de la composta. Se tomaron con ayuda de una probeta 100 mL del fertilizante y se trasladaron al vaso de precipitado. Se calibró el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH, 4.00-7.00-10.00 enjuagando el electrodo antes de iniciar las lecturas de las muestras. Con ayuda de una mosca y el agitador magnético la muestra estuvo en agitación constante, tomando el resultado de pH cuando el potenciómetro esté estabilizado (Baird *et al*, 2017).

Conductividad eléctrica del lixiviado:

Procedimiento: se tomó la conductividad a la muestra utilizada para la determinación de pH, tomando el resultado cuando el conductivímetro este estabilizado (Baird *et al*, 2017).

### 3.2.2 Análisis microbiológicos

#### a) Coliformes fecales

##### Materiales

- Autoclave marca All american
- Incubadoras marca precisión Scientific a 36 °C
- Baño maría marca VWR Scientific a 42 °C
- Mecheros Bunsen
- Balanza analítica marca Mettler AE 200
- 8 pipetas graduadas 10 ml
- 1 pipeta graduada 5 ml
- Propipetas
- Probetas de 50 ml
- Matraz volumétrico 1 L
- Vaso de precipitado 500 ml
- Vaso de precipitado 250 ml
- 25 tubos de vidrio grande con tapón (20 ml)
- 10 tubos de vidrio mediano con tapón (15 ml)
- 10 tubos de vidrio chico con tapón (10 ml)
- Campana de Durham
- Asas bacteriológicas

##### Reactivos

- Agua destilada
- Caldo lactosado (prueba presuntiva)
- Medio EC (prueba confirmativa)
- Cloruro de magnesio
- Fosfato

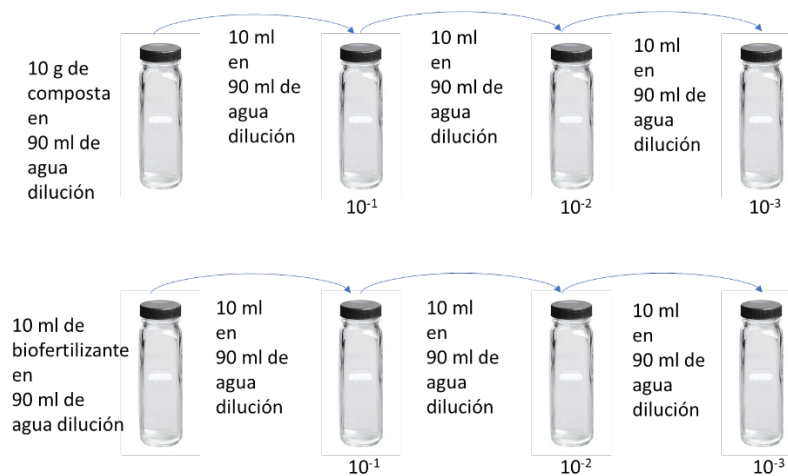
Preparación de agua de dilución: utilizando una pipeta volumétrica de 5 ml se tomaron 5 ml de cloruro de magnesio y 1.25 ml de fosfatos. Se pasaron a un matraz volumétrico

de 1 L y se aforo. Se mezcló y transfirieron 90 ml de agua de dilución a cada uno de los 8 frascos de dilución y se esterilizaron en una autoclave a 15 pulgadas de presión y 121 °C durante 15 minutos (Secretaria de comercio y fomento industrial [SFCI], 2015).

Preparación de medio de cultivo para la prueba presuntiva de coliformes fecales (caldo lactosado): se prepararon 30 tubos para la prueba presuntiva de coliformes fecales (10 tubos grandes, 10 tubos medianos y 10 tubos chicos). En la balanza analítica se pesaron 5.5 g de caldo lactosado y se transfirieron a un vaso de precipitado de 500 ml, agregándole 350 ml de agua destilada y mezclando. Se tomaron los 10 tubos grandes y se agregaron 15 ml de caldo lactosado para obtener una concentración doble, se adicionaron 10 ml de caldo lactosado a los tubos medianos y chicos para una concentración sencilla utilizando una pipeta graduada de 10 ml. A cada tubo se le añadió una campana de Durham y se cerraron con su tapa. Los tubos se pusieron en una gradilla y se esterilizaron en una autoclave a 15 libras de presión y 121 °C durante 15 minutos (SFCI, 2015).

Preparación de medio de cultivo para la prueba confirmativa de coliformes fecales (Medio EC): se prepararon 15 tubos tamaño grande para la prueba confirmativa de coliformes fecales. En la balanza analítica se pesaron 5.5 g de Medio EC, se pasaron a un vaso de precipitado de 250 ml y se adicionaron 150 ml de agua destilada. Con una pipeta graduada de 10 ml se tomaron 10 ml del medio de cultivo para transferirlos a cada uno de los tubos. Se le agrego una campana de Durham a cada tubo, se pasaron a una gradilla y se esterilizaron en una autoclave a 15 pulgadas de presión y 121 °C durante 15 minutos (SFCI, 2015).

Procedimiento para coliformes fecales en composta y biofertilizante líquido: se tomaron 2 frascos de agua de dilución, al primero se agregaron 10 g de muestra de composta pesados anteriormente en la balanza analítica y al segundo 10 ml de muestra de biofertilizante líquido, mezclándose en ambos. Seguido se prepararon soluciones seriadas ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ) de cada muestra, tomando 10 ml con una pipeta graduada a cada frasco como se muestra en la figura 8 (SFCI, 2015).



**Figura 8.** Diluciones de las muestras de bermicomposta y lixiviado para ver presencia de coliformes fecales.

Posteriormente se utilizan los tubos de caldo lactosa para la prueba presuntiva de coliformes fecales, preparados con anterioridad y se agrega la muestra cómo se observa en el Tabla 6. Los tubos preparados se incubaron durante 48 h a 36 °C, en las primeras 24 h se observa si se forma una burbuja en la campana de Durham y se dejan en la incubadora hasta cumplir el tiempo. Pasando las 48 h, los tubos que son positivo a la prueba presuntiva se re siembran en los tubos de prueba confirmativa que contienen medio EC, creando una zona estéril con un mechero bunsen. Utilizando un asa microbiológica se toma una asada de bacterias del tubo presuntivo y se resiembran en el tubo confirmativo. Los tubos preparados se disponen en el baño maría a 42 °C durante 24 horas. Pasando este tiempo, los tubos que contienen una burbuja en el tubo Durham, se consideran positivos y se realizan los cálculos correspondientes (SCFI, 2015).

**Tabla 6.** Cantidad de muestra en mililitros para inocular cada tubo de dilución (SCFI, 2015).

Dilución	Tamaño tubo	Cantidad de muestra (mL)
10 <sup>-1</sup>	Grande	10
10 <sup>-2</sup>	Mediano	1
10 <sup>-3</sup>	Chico	0.1

Preparación de “Agar Macconkey” para prueba confirmativa de *Escherichia coli* (*E. coli*): se pesaron 10 g de agar en la balanza analítica (Mettler AE 200), y se diluyeron en 200 mL de agua tibia destilada. Se llevaron a la autoclave para esterilización a 120 libras de presión durante 15 minutos. Posteriormente se vaciaron 20 mL en cada caja petri, utilizando la capa UV para evitar contaminación y se dejaron solidificar (Britania, 2021a).

Prueba confirmativa para *E. coli*: de las muestras que dieron positivas en la prueba confirmatoria se sembraron en las placas que contenían agar Macconkey, utilizando un asa microbiológica y un mechero bunsen para crear una zona de esterilidad. Posteriormente se incubaron a 36 °C durante 24 h en una incubadora marca Presision Scientific, para observar resultados (Britania, 2021a).

Preparación de “Agar Salmonella – Shigella”: se pesaron 12 g de agar en la balanza analítica, y se diluyeron en 200 mL de agua tibia destilada, se dejó reposar 5 minutos y se mezcló hasta homogenizar, calentar con agitación frecuente y se llevó a ebullición durante un minuto para disolución total. No es necesario esterilizar en autoclaves por lo que se dejó enfriar y se distribuyó en las placas de Petri estériles (Britania, 2021b). Las muestras que crecieron en la prueba confirmativa de *E. coli*, pero que no fueron fermentadores de lactosa, se resembraron en agar salmonella – shigella, se incubaron a 36 °C durante 24 h en una incubadora marca Presision Scientific para observar resultados después de pasado el tiempo.

Preparación de “Agar EMB (eosina azul de metileno)”: se pesaron 7.2 g de agar en la balanza analítica, y se diluyeron en 200 mL de agua tibia, se calentó con agitación frecuente y se llevó a ebullición hasta su disolución total. Se esterilizó en autoclave (marca All american) a 121 °C durante 15 minutos, se dejó enfriar en se distribuyó en placas de Petri estériles. Las colonias que crecieron en la prueba confirmativa de *E. coli*, pero que no fueron fermentadores de lactosa, se resembraron en agar EMB, se incubaron (marca Precision Scientific) a 36 °C durante 24 h para observar resultados después de pasado el tiempo (Britania, 2021c).

Preparación de “Agar verde brillante”: se pesaron 11.6 g de agar en la balanza analítica, y se diluyeron en 200 mL de agua tibia destilada, se calentó con agitación

frecuente y se llevó a ebullición hasta su disolución total. Se esterilizo en autoclave a 121 °C durante 15 minutos, se dejó enfriar en se distribuyó en placas de Petri estériles. Las colonias que crecieron en la prueba confirmativa de *E. coli*, pero que no fueron fermentadores de lactosa, se sembraron en agar verde brillante, se incubaron (marca Precision Scientific) a 36 °C durante 24 h para observar resultados después de pasado el tiempo (Britania, 2021d).

### 3.3 Diseño experimental para el cultivo de tomate Cherry

Se realizo un diseño experimental en bloques completamente al azar, con seis tratamientos (testigo agua, testigo químico, biofertilizante en 25%, 50%, 75% y 100%) y cinco repeticiones en cada uno, que se observan en el Tabla 7. Cada maceta fue tratada con dos semillas del tomate Cherry (3 partes de suelo para plantas, 2 partes de composta, 1 parte de arena). El cultivo fue protegido con malla de pájaro, y plástico de invernadero, en condiciones semi controladas para la protección contra la lluvia y aire. El riego será la misma cantidad para todos los tratamientos, cada tercer día, ya que el tomate es sensible al estrés hídrico, sin llegar a la saturación del suelo (Acosta-Duran, 2017).

**Tabla 7.** Tratamientos para el diseño experimental en el desarrollo del cultivo del tomate Cherry.

Tratamiento	Dosis	Aplicación
#1 biofertilizante 25%	2.5 L de lixiviado en 7.5 L de agua.	Cada 3 días
#2 biofertilizante 50%	5 L de lixiviado en 5 L de agua.	Cada 3 días
#3 biofertilizante 75%	7.5 L de lixiviado en 2.5 L de agua.	Cada 3 días
#4 biofertilizante 100%	Lixiviado de lombriz sin dilución.	Cada 3 días
#5 testigo químico	2 CC de fertilizante azul NPK	Al momento de la siembra
#6 testigo agua	Solo agua	Cada 3 días

### 3.4 Análisis de la fertilidad del suelo con equipo de fluorescencia de rayos X (FRX) portátil.

Después del mes de fertilización del cultivo de tomate Cherry, se tomaron muestras de cada maceta y del suelo que no fue fertilizado para observar si existió un aumento en los nutrientes del suelo. Para este estudio se utilizó un equipo de fluorescencia de rayos X portátil marca ThermosScientific, para un análisis rápido de la fertilidad del suelo. El equipo puede medir desde el magnesio hasta el uranio, en el modo suelo, para medir la concentración de elementos en el suelo dando un resultado en ppm. Las muestras se secaron y se molieron utilizando un mortero. Las muestras se pasaron a un recipiente XRF, cubierto con una película de polipropileno. En el equipo las muestras se analizaron por triplicado, con un tiempo de análisis de 120 segundos. Posteriormente se realizó un análisis de anova, con una prueba post-hoc de Tukey, para realizar una comparación de medias entre cada tratamiento (López et al., 2020).

## 4. Resultados y discusiones

El tema se eligió por el interés de seguir una línea de investigación similar a trabajos realizados anteriormente con la matriz suelo, en el ámbito de contaminación por metales pesados. En esta investigación se plantearon recomendaciones para aminorar el daño al suelo, provocado por el uso de fertilizantes sintéticos; una de ellas fue el uso de fertilizantes orgánicos que son de beneficio para aumentar la productividad del suelo y los cultivos. El tema se delimitó con el tiempo que se tenía para trabajar y los materiales disponibles en el laboratorio para poder comparar la eficiencia entre los fertilizantes químicos y orgánicos.

Durante la redacción de los antecedentes y marco teórico, se investigó todo lo relacionado al tema de estudio para comprenderlo y tener resultados confiables. Esta es una investigación útil en el corto plazo para las(os) investigadoras(es) y, en el largo plazo, para los agricultores de la región para que puedan tener la suficiente información técnica y así decidir qué tipo de fertilizante es eficiente a su presupuesto, y sus cultivos.

La metodología propuesta para cumplir con los objetivos de la investigación puede replicarse, porque se obtuvo a partir de normas mexicanas y artículos científicos relacionados con la investigación en donde los autores coincidieron que obtienen resultados confiables. También los objetivos se determinaron utilizando las herramientas de escritura para que fueran claros, concretos y entendibles por el lector. Asimismo, se delimitaron para que cumplierse en el tiempo indicado, debido a las condiciones de la pandemia por el SARS-CoV-2. Por último, los objetivos de esta investigación fueron medibles, porque es una investigación de tipo cuantitativa que utilizó la estadística para analizar y comparar el comportamiento de los fertilizantes con los datos obtenidos.

Las fuentes primarias que se consultaron fueron artículos de revistas científicas, al igual que normas ambientales mexicanas y libros, mientras que algunas fuentes secundarias fueron resúmenes de libros o de otras investigaciones realizadas anteriormente. Durante la búsqueda, la bibliografía que se encontró fue adecuada, y

suficiente, porque el proyecto proviene de estudios donde se obtuvieron datos y resultados confiables.

El primero de los metabuscadores que se utilizaron fue Google Académico, en donde se encuentran varias revistas de acceso libre, mientras que para encontrar información restringida se recurrió a las bases de datos que la UACJ pone a disposición de los estudiantes, como Science Direct y Nature. Para tener búsquedas exitosas en estas bases de datos y encontrar la información necesaria en inglés y español se utilizaron palabras clave. También se delimitaron las búsquedas por año con el fin de que estas fueran lo más reciente posible.

Uno de los principales problemas es el cómo delimitar correctamente la información, para encontrar aquella bibliografía que sea específica al proyecto. Para resolverlo, antes de comenzar a investigar se debe crear un índice de contenidos para limitar los temas que se van a buscar.

Para seguir con el apartado de resultados, es importante recordar el objetivo, pregunta de investigación y metodología de la actual tesis, que llevaron a la obtención de resultados. Analizar las propiedades químicas y microbiológicas de un biofertilizante para utilizarlo como mejorador de la fertilidad del suelo y productividad de los cultivos en condiciones semi controladas de invernadero es el objetivo general de la investigación. Para cumplir con la meta, se planteó: ¿Cuál es el efecto del biofertilizante en la productividad de los cultivos y la fertilidad del suelo?

Se analizaron las propiedades químicas del biofertilizante como el pH, conductividad eléctrica, concentraciones de macronutrientes y micronutrientes. También se evaluó la inocuidad del biofertilizante, realizando análisis microbiológicos para presencia o ausencia de *E. coli*, *Salmonella spp* y huevos de helmintos y hongos fitopatogénos. Por último, se comparó el biofertilizante con otros dos controles (agua y fertilizantes sintético) en el cultivo del tomate bola, en diferentes tratamientos. Comparando el desarrollo del cultivo y las concentraciones de los nutrientes en las plantas utilizando un equipo de fluorescencia de rayos X (XRF) portátil.

## 4.1 Análisis de propiedades químicas del biofertilizante

### 4.1.1 Identificación de pH y conductividad eléctrica en el biofertilizante

En el Tabla 8 se observan los parámetros de pH y conductividad eléctrica (CE) ( $\text{dS m}^{-1}$ ) que se analizaron en el lixiviado de composta de lombriz (biofertilizante). Se utilizó un equipo sensION+ portátil, con la capacidad de medir ambos parámetros. El pH, en todos los tratamientos se encuentra entre un rango de 7.85 a 7.99, con un promedio de 7.94. La NMX-FF-109-SCFI-2007 marca un valor de pH para la lombri-composta de 5.5 a 8.5, preferiblemente en un pH neutro de 7, aunque cuando los materiales utilizados son provenientes de zonas áridas puede tener un pH mayor, como es el caso de Ascensión, Chihuahua que es considerado un clima muy árido, con una temperatura media anual de  $17.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Romero-Gameros *et al.*, 2021).

**Tabla 8.** Parámetros de pH y conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) medidos con un equipo sensION + Portable Meter multiparámetros.

Tratamiento	pH	Conductividad eléctrica $\text{dS m}^{-1}$
T1	7.85	2.55
T2	7.95	5.12
T3	7.99	7.32
T4	7.99	9.45

El pH es uno de los parámetros que influyen en la fertilidad del suelo, porque la disponibilidad de los nutrientes dependerá de este valor. Ninguno de los 4 tratamientos sobrepasa los límites marcados por la NMX-FF-109-SCFI-2007, aunque estén clasificados para la composta, dan una estimación del pH que también se debe encontrar el lixiviado que proviene de ella. Islam y colaboradores en el año 2016, estudiaron el lixiviado de la composta obtenida de estiércol bovino y paja de trigo como materia prima; entre sus resultados obtuvieron un pH de 8.8, que después de 4 semanas de

almacenamiento bajo y se estabilizó en 8.1. Según los autores el pH solo se ve influenciado por el tiempo de almacenamiento y en menor medida por la temperatura. La razón de la acidificación del pH es por la descomposición microbiana, que se sigue dando por ser productos orgánicos, aumentando los aniones ácidos como el oxalato, citrato y malato.

La conductividad eléctrica debe medirse en el suelo y en el agua que se utiliza para el riego, porque un suelo con alta salinidad puede provenir del agua. En este caso el riego se realizó con el lixiviado de lombricomposta, diluido en las diferentes concentraciones de los tratamientos, es importante tener el valor de conductividad eléctrica de estos tratamientos (Mengel & Kirkby, 2012).

Según la tabla 8, encontramos que el tratamiento 1 (25 ml de lixiviado + 75 ml de agua de la llave) tuvo una CE de  $2.55 \text{ dS/m}^{-1}$ , seguido del tratamiento 2 (50 ml lixiviado + 50 ml agua de la llave) con una CE de 5.12, el tratamiento 3 (75 ml de lixiviado + 25 ml de agua de la llave) 7.32 y el valor más alto fue reportado por el tratamiento 4 (100 ml de lixiviado) con una CE de 9.45. La NMX-FF-109-SCFI-2007 dicta un valor para conductividad eléctrica (CE) menor o igual a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ . De los cuatro tratamientos analizados solo el tratamiento 1 es aceptado por la norma. Aún y cuando la CE no presente un problema inmediato en el tratamiento 1, se debe seguir monitoreando, porque las sales se concentran en los suelos aumentando la CE y llegan a retener el agua, propiciando un déficit hídrico para los cultivos. Además, la acumulación de sales en el suelo puede resultar en un desarrollo bajo del cultivo y afectar de igual manera en la calidad y rendimiento de los cultivos (Mengel & Kirkby, 2012).

Islam y colaboradores en el año 2016, reportaron una CE de  $2.1 \text{ dS m}^{-1}$ , en la composta donde fue extraído el lixiviado de lombricomposta. Este resultado es similar al obtenido en el tratamiento 1 de  $2.55 \text{ dS m}^{-1}$ . Mientras que Cruz-Hernández, Acevedo-Alcalá y Báez-Cruz en el 2015, en su trabajo de fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos, obtuvieron un valor de  $9.06 \text{ dS m}^{-1}$  en su lixiviado de lombricomposta, un resultado similar al tratamiento 4 de este proyecto.

#### 4.1.2 Identificación y cuantificación de micronutrientes y macronutrientes

En el Tabla 9 se identifican los macronutrientes que contiene el biofertilizante en sus diferentes concentraciones (25%, 50%, 75% y 100%). Se analizaron en un espectrómetro visible DR1900, marca HACH con valores en concentración de mg L<sup>-1</sup>.

Como se mencionó anteriormente el pH es muy importante porque afecta la disponibilidad de los nutrientes. En el biofertilizante se encontró un pH aproximado de 7.9. Según Navarro & Navarro (2014) en su libro “Fertilizantes y química en acción” la máxima disponibilidad de nitrógeno, azufre, potasio, y fósforo se encuentra a valores de pH entre 5.5 – 8. Mientras que el magnesio a pH básico mayor a 8. Los valores obtenidos por Palacios y colaboradores (2021), en sus diferentes tratamientos para la obtención de lixiviado de lombricomposta, llevan una relación similar a los encontrados en este trabajo. Obtuvo una mayor concentración de azufre, seguido de potasio, nitrógeno, fósforo y magnesio respectivamente. En paralelo a este trabajo donde las concentraciones de los macronutrientes fueron azufre, potasio, fósforo, nitrógeno y magnesio de mayor a menor, cambiando en lugares el fósforo y nitrógeno, en comparación a Palacios y colaboradores (2021).

El nitrógeno total puede disminuir dependiendo del tiempo de almacenaje del biofertilizante debido a que la composición química del nitrógeno total es la suma del nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico, razón por la que en este estudio es el cuarto en la lista de concentraciones de los nutrientes en el biofertilizante. El nitrógeno orgánico es el que se encuentra en proteínas, ácidos nucleicos, entre otros, pero es absorbido por las bacterias que se encuentran en el suelo y composta, para convertirlo en nitritos y nitrógenos amoniacal que son asimilados por las plantas. (Islam *et al.*, 2016).

Entre los tratamientos no existieron diferencias significativas en la prueba post hoc (tukey  $p \leq 0.05$ ) para azufre, potasio, magnesio. Los tratamientos al 50 % y 75 % son estadísticamente iguales para todos los macronutrientes, mientras que el tratamiento al 25% y 100 % son diferentes a todos los demás. El tratamiento cuatro o biofertilizante al 100% es el que contiene la mayor concentración de los nutrientes. Los macronutrientes

primarios para las plantas con nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que los macronutrientes secundarios son azufre, magnesio. Tanto los nutrientes primarios como secundarios son necesarios para el correcto desarrollo de los cultivos, la diferencia es que los secundarios se necesitan en una menor concentración a los primarios. Es necesario realizar estudios, para aumentar las concentraciones de nitrógeno en el biofertilizante, para que este elemento pueda estar disponible para el desarrollo de las plantas (Díaz, 2021).

**Tabla 9.** Identificación de macronutrientes en el biofertilizante y sus valores a diferentes concentraciones, medidos con un espectrómetro visible portátil, marca Hach DR1900. El tratamiento 1 es el biofertilizante al 25% diluido en agua, T2 = 50%, T3 = 75% y T4 = 100%. Las letras diferentes en las columnas dictan una diferencia significativa entre medias utilizando la prueba tukey ( $\leq 0.05$ ).

Macronutrientes					
Tratamiento	N	S	K	P	Mg
mg L <sup>-1</sup>					
T1	15.3 a	498.4 a	510 a	17.2 a	0.32 a
T2	35 b	1896.6 a	1140 a	26.7 b	0.32 a
T3	45.7 b	2611 a	1700 a	38.6 bc	0.22 a
T4	71.3 c	3090.3 a	1653.3 a	44.1 c	0.59 a

La concentración de los micronutrientes debe ser significativamente menor que los macronutrientes, porque son nutrientes que se necesitan en menor concentración como se muestra en la tabla 10. Algunos de los micronutrientes se encontraron por debajo de los límites de detección del equipo DR1900 como molibdeno, cloro, manganeso y fierro y los que se conoce su concentración como cobre, zinc y níquel. El equipo que se utilizó tiene limitantes al ser un equipo de campo de espectrofotometría de ultravioleta visible. Para futuros proyectos se puede considerar utilizar equipos de laboratorio con el mismo principio de UV-Vis o absorción atómica para crear curvas de calibración y poder obtener datos a menores concentraciones que no se pudieron obtener con el equipo utilizado.

De la misma manera que en los macronutrientes el pH afecta la disponibilidad de los micronutrientes en el medio, el fierro, manganeso y zinc se encuentran principalmente en ambientes con pH ácidos, el molibdeno y níquel prefieren ambientes básicos, mientras que el cobre que dentro de los micronutrientes fue el que se encontró en mayor concentración, porque su máxima disponibilidad es alcanzada a pH neutros, como en este caso (Navarro & Navarro, 2014).

Los análisis estadísticos se pueden comparar en aquellos nutrientes de los que se obtuvieron resultados como el cobre, zinc y níquel. el tratamiento 1, 2 y 4 son significativamente diferente a los demás tratamientos, mientras que el tratamiento 3, es significativamente igual a los tratamientos 2 y 4, dependiendo del micronutriente que se está evaluando. Para los micronutrientes que pudieron ser medidos como cobre, zinc y níquel, se encontraron datos similares para zinc y níquel en Palacios y colaboradores (2021), mientras que sus concentraciones de cobre fueron menores a las obtenidas en este trabajo. En los micronutrientes el tratamiento 4 obtuvo la mayor concentración de cobre y níquel, pero el tratamiento 1 obtuvo la mayor concentración de Zinc.

**Tabla 10.** Identificación de micronutrientes en el biofertilizante y sus valores a diferentes concentraciones, medidos con un espectrómetro visible portátil, marca Hach DR1900. El tratamiento 1 es el biofertilizante al 25% diluido en agua, T2 = 50%, T3 = 75% y T4 = 100%. Las letras diferentes en las columnas dictan una diferencia significativa entre medias utilizando la prueba tukey ( $\leq 0.05$ ). \* la concentración de este nutriente se encontró por debajo del límite de detección del equipo.

Micronutrientes							
Tratamiento	Cu	Mo	Zn	Ni	Cl	Mn	Fe
mg L <sup>-1</sup>							
T1	0.07 a	<0.2*	0.13 a	0.082 a	<0.1*	<0.1*	<0.02*
T2	2.1 b	<0.2*	0.09 b	0.153 b	<0.1*	<0.1*	<0.02*
T3	4.8 c	<0.2*	0.07 b	0.240 bc	<0.1*	<0.1*	<0.02*
T4	10.7 c	<0.2*	0.01 b	0.425 c	<0.1*	<0.1*	<0.02*

## 4.2 Análisis microbiológico del biofertilizante

### 4.2.1 Coliformes fecales

Los coliformes son un grupo de bacterias provenientes del tracto intestinal de los hombres y de animales de sangre caliente, que pueden sobrevivir hasta temperaturas de 45 °C. Los coliformes fecales se utilizan principalmente como indicadores de calidad de agua y alimentos por estar relacionados con la posible presencia de contaminación fecal. *Escherichia coli* es el principal microorganismo perteneciente a este grupo, pero también podemos encontrar en menores concentraciones especies como *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* (Pino *et al.*, 2020; Fernández-Santisteban, 2017). La Norma Mexicana 042 marca la metodología para confirmar la presencia de coliformes fecales que es la estimación de la cantidad de bacterias que se encuentran en la muestra.

En la Tabla 11 muestra los valores de NMP (número más probable) de coliformes fecales por cada 100 ml, según el número de tubos que dieron a reacción positiva de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml, que marca la Norma Mexicana 042 para el análisis de agua- enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales y *E. coli* – método del número más probable en tubos múltiples del año 2015.

**Tabla 11.** Valores de NMP por cada 100 ml de muestra y 95% de límite de confianza (cuando se utilizan 5 alícuotas de muestra de 10 ml, 5 de 1 ml y 5 de 0.1 ml), según la NMX-AA-042-SCFI-2015 (SCFI, 2015).

Número de tubos que dieron reacción positiva			NMP por 100 ml
5 de 10 ml	5 de 1 ml	5 de 0.1 ml	
3	0	0	8
3	0	1	11
5	0	0	23
5	0	1	31
5	0	2	43

En el Tabla 12, se observan los resultados obtenidos en el laboratorio para la prueba microbiológica de coliformes fecales, siguiendo la norma mexicana 042. A las 24 horas y 48 horas se obtuvieron los mismos resultados, utilizando el medio EC como prueba confirmativa. Los tubos 2, 3 y 4 fueron positivos a la prueba porque se formó una burbuja en el tubo de fermentación o campana Durham. La simbología para entender el Tabla 10 es la siguiente: el número 0, es un tubo negativo en donde no existió burbuja y el número 1, es un tubo positivo. Utilizando la tabla 10, que dicta la norma mexicana, en el lixiviado de lombricomposta se obtuvo 8 NMP por cada 100 mL. En el apartado de metodología se menciona, que se realizó una dilución de 1:10 de la muestra, por lo que es necesario multiplicar por su factor de dilución. El resultado final para el lixiviado de lombricomposta fue de 80 NMP / 100 mL de coliformes fecales.

**Tabla 12.** Número de tubos que dieron reacción positiva a coliformes fecales a 36 °C después de 24 y 48 horas en la muestra de lixiviado líquido.

Lixiviado líquido						
24 horas						
# tubo	1	2	3	4	5	
10 ml	0	1	1	1	0	
1 ml	0	0	0	0	0	
0.1 ml	0	0	0	0	0	
48 horas						
# tubo	1	2	3	4	5	
10 ml	0	1	1	1	0	
1 ml	0	0	0	0	0	
0.1 ml	0	0	0	0	0	

En el Tabla 13, se observan los resultados de coliformes fecales que se obtuvieron para la bermicomposta. A diferencia del lixiviado y comparándolo con la NMX-AA-042-SCFI-2015, los resultados después de 48 horas serían 23 NMP, multiplicados por el

factor de dilución de 10, daría un resultado final de 230 NMP / 100 mL de bermicomposta, un valor más alto que el lixiviado.

**Tabla 13.** Número de tubos que dieron reacción positiva a coliformes fecales a 36 °C después de 24 y 48 horas en la muestra de bermicomposta.

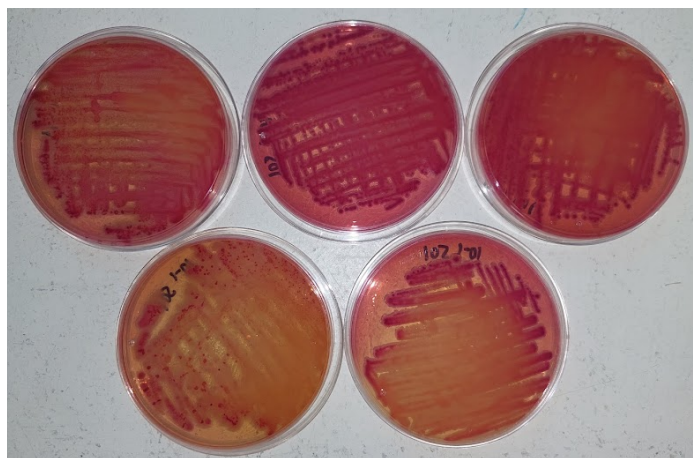
Bermicomposta						
24 horas						
# tubo	1	2	3	4	5	
10 ml	1	1	1	1	1	
1 ml	0	0	0	0	0	
0.1 ml	0	0	0	0	0	
48 horas						
# tubo	1	2	3	4	5	
10 ml	0	1	1	1	0	
1 ml	0	0	0	0	0	
0.1 ml	0	0	0	0	0	

La composta proviene de heces de ganado ovino, que al ser animales de sangre caliente se espera presencia de coliformes fecales en los análisis microbiológicos de la composta y el biofertilizante, como se observó en las tablas anteriores.

#### 4.2.2 Prueba confirmativa para *Escherichia coli*.

Los coliformes fecales son el grupo de bacteria que pueden fermentar la lactosa, por lo que se utiliza el agar Macconkey como prueba confirmatoria para *E. coli*, porque contiene lactosa. Cuando las bacterias coliformes fecales se desarrollan en el agar y comienza la fermentación de la lactosa, el indicador de pH (rojo neutro) produce un viraje en el color obteniéndose colonias de rosas a rojas. Mientras que, si no existe esta fermentación de la lactosa, el medio no cambia de color (Britania, 2021a)

Los tubos positivos en la prueba confirmativa de coliformes fecales se inocularon en cajas Petri que contenían Agar Macconkey. En la figura 9 se muestran que las 5 cajas Petri de la muestra de lombricomposta, dieron un resultado positivo a *Escheria coli* al observar un crecimiento satisfactorio y un color característico de rojo ladrillo, y un halo de precipitación biliar (Britania, 2021a).

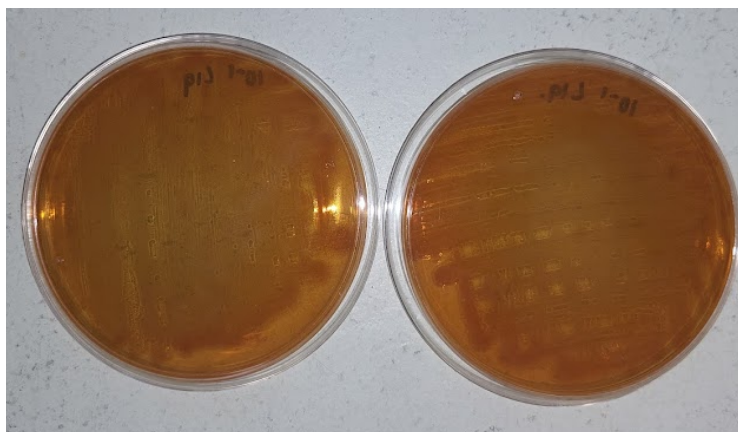


**Figura 9.** Resultado positivo a *E. coli* en muestras de lombricomposta después de 24 horas a 36 °C en incubadora en agar Macconkey.

*Escherichia coli* es un bacilo gramnegativo, anaerobio que pertenece al grupo de las enterobacterias. Al igual que en el intestino de los humanos, los ovinos sanos pueden llegar a ser reservorios de algunos serotipos de *E. coli*, al contener esta bacteria en su microbiota normal. Es importante cuidar esta bacteria porque puede ser causante de enfermedades transmitidas por los alimentos. *E. coli* en el humano, puede causar infecciones urinarias (especialmente en las mujeres) y enfermedades diarreicas. (Enríquez-Gómez *et al.*, 2019; Carrol *et al.*, 2016).

En el estudio descrito por Enríquez-Gómez y colaboradores en el año 2019, se obtuvieron 159 muestras de hisopados rectales y 162 muestras de hisopado de canal de ovinos muertos en el rastro del estado de México. Del total de las muestras se aislaron 90 muestras positivas a *E. coli* mediante pruebas bioquímicas. De esta bacteria se identificaron seis serotipos que tienen importancia en salud pública, por ser causantes de diarrea en los humanos.

Los tubos que dieron positivos del lixiviado de lombricomposta se llevaron a la prueba confirmatoria. En este caso se trata de un microorganismo no fermentador de la lactosa por encontrar crecimiento de colonias del mismo color que el medio, como se observa en la Figura 10. Para identificar a este microorganismo se realizaron pruebas bioquímicas (Britania, 2021a).



**Figura 10.** Resultado positivo a una bacteria no fermentadora de lactosa, en muestra de lixiviado de humus de lombriz después de 24 horas a 36 °C en incubadora en agar Macconkey.

#### 4.2.3 Pruebas bioquímicas

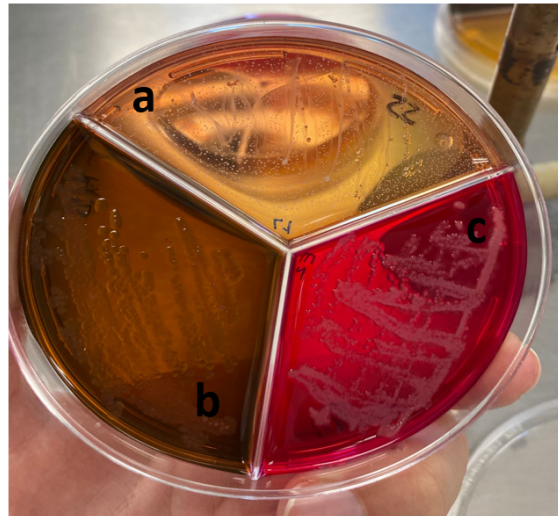
Las pruebas bioquímicas son un diagnóstico complementario a las pruebas realizadas anteriormente que utilizan reacciones fisiológicas y químicas de cada microorganismo para identificarlo (MacFaddin, 2003).

Las primeras pruebas que se realizaron son las que se observan en Figura 11, en una caja Petri con tres divisiones donde se encuentran los siguientes agares:

- a) Salmonella – Shigella (SS): este agar permite el crecimiento de bacterias grampositivas, de coliformes, entre otros. Contiene lactosa para diferenciar a los microorganismos fermentadores de este hidrato de los no fermentadores. Y tiosulfato de sodio, donde los microorganismos como *Salmonella spp.*, *Proteus mirabilis* producen un color negro por la formación de ácido sulfhídrico. Con esta prueba se conoce que es una bacteria no fermentadora de lactosa y en el control

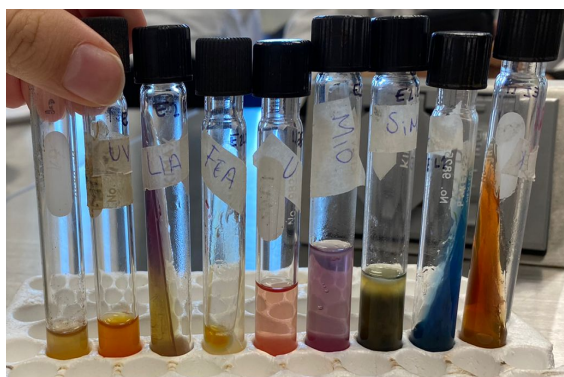
de calidad los resultados son: *Salmonella spp.*, *Shigella spp.* O *Proteus mirabilis* (Britania, 2021b).

- b) Eosina azul de metileno (EMB): este medio funciona para distinguir de igual manera las bacterias fermentadoras y no fermentadoras de lactosa y se suma el hidrato sacarosa. Al tener un crecimiento satisfactorio, pero sin cambio de color, se puede pensar en *Proteus mirabilis*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, o *Pseudomona aeruginosa* (Britania, 2021c).
- c) Verde brillante (VB): en este agar el verde brillante funciona para inhibir el desarrollo de bacterias Grampositivas y algunas Gramnegativas, al igual que los dos medios anteriores, en este caso se tienen bacterias no fermentadoras de lactosa o sacarosa por tener un fondo rojizo y colonias rosadas. Como el agar inhibe el crecimiento de *Shigella spp.*, se elimina esta bacteria y se siguen considerando *Proteus mirabilis* y *Salmonella spp.*, (Britania, 2021d).



**Figura 11.** Caja Petri con tres divisiones, a) agar salmonella-shigella, b) eosina azul de metileno, c) verde brillante.

Después de tomar estos datos, se tomó bacteria de uno de los agares y se inoculo en las siguientes pruebas bioquímicas que se muestran en la Figura 12:



**Figura 12.** Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias en el lixiviado de lombricomposta. De izquierda a derecha se encuentra las pruebas: agar RM-VP, agar lisina hierro, agar fenilalanina, agar urea, agar MIO, agar SIM, agar citrato, agar kligler.

Los resultados mostrados en la Figura 12, se obtuvieron 24 horas después de incubación a 37 °C. Se utilizó las características de identificación en pruebas bioquímicas para enterobacterias del libro “diagnóstico microbiológico”, donde se obtuvieron los resultados se muestran en el Tabla 14, y la bacteria que se identificó al comparar los resultados con la tabla encontrada en el libro fue: *Citrobacter freundii* (Koneman & Allen, 2008).

**Tabla 14.** Resultados de las pruebas bioquímicas. RM: rojo de metilo, VP: Voges-Proskauer, LIA: agar lisina hierro, FEA: agar fenilalanina, U: urea, MIO: agar MIO, SIM: agar SIM, CIT: agar citrato, KIA: agar Kligler.

Agar	RM	VP	LIA	FEA	U	MIO	SIM	IND	CIT	KIA
Resultado	+	-	-	-	+	+	+	-	+	A/A

Los ovinos son portadores de distintas enterobacterias, aunque las que se presentan con mayor frecuencia son: *Escherichia coli*, y *Salmonella*. En menor frecuencia se pueden encontrar otras como: *Citrobacter freundii*, es una bacteria gramnegativo aerobio, que algunas cepas pueden fermentar lactosa, pero lentamente. Se pueden encontrar en el medio ambiente causando algunas infecciones en los humanos, especialmente en pacientes inmunodeprimidos (Peña, 2018).

En un trabajo descrito en la Revista de sistemas experimentales, realizaron un aislamiento en agar enriquecido para dos muestras. La primera muestra fueron los

estómagos de las lombrices rojas californianas, mientras que la segunda muestra fue la lombricomposta que se obtuvo al finalizar el lombricomposteo. En este trabajo posterior al cultivo se realizó una tinción de gram para definir la morfología de los microorganismos. Se encontraron microorganismos del género bacilos grampositivo, que posteriormente con los ensayos microbiológicos se aisló el género *Bacillus firmus* considerada rizobacteria (Torres-González, Ramos-Perfecto & Hidalgo-Cortés, 2017).

Mientras que en el estudio de Colín-Navarro y colaboradores del año 2018, identificaron principalmente especies como *Pseudomonas fluorescentes*, hongos como *Aspergillus spp.*, y actinomicetes. En este trabajo se comparó un composteo tradicional con un lombricomposteo, en donde concluyen que de manera significativa existe un aumento de hongos y actinomicetes utilizando lombrices para la composta, ya que sobreviven al proceso digestivo enzimático de esta, mientras que hay una disminución de bacterias. También concluyen que aun y cuando existe una disminución, la abundancia de bacterias sigue siendo grande porque el tracto digestivo de la lombriz tiene un microbiota normal de  $500 \times 10^9$ . Durante el proceso de lombricompostaje pueden llegar a desaparecer algunas bacterias patógenas como *E. coli* y *Salmonella*, que vienen marcadas en la NMX-FF-109-SCFI-2008 como bacterias que no se deben encontrar en las compostas, aunque esto también depende de la materia prima que se utilizó (Colín-Navarro *et al.*, 2019).

### 4.3 Fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo se puede perder por uso excesivo de fertilizantes químicos, entre otras situaciones y causar un bajo rendimiento de las cosechas. La materia orgánica en el suelo puede ayudar a las siguientes características (Ramos *et al.*, 2018; Benton, 2012):

1. Aumentar el nivel de agregación.
2. Aireación.
3. Humedad.
4. Resistencia del suelo a la degradación.
5. Mejora el desarrollo de las raíces.

6. Regula el pH.
7. Aumenta los nutrientes en el suelo.

Una alternativa para aumentar la fertilidad del suelo es el uso de lombricomposta como un abono orgánico. En el año 2018, un estudio realizado por Ramos y colaboradores, elaboraron lombricomposta a partir de materia orgánica como: estiércol de ganado vacuno, rastrojo de cacahuate y maíz, utilizando a la lombriz roja californiana, para la creación de la composta. Analizaron 6 tratamientos con 6 repeticiones cada, a diferentes dosis de lombricomposta. Concluyen que la adición de lombricomposta en el cultivo de cacahuate mejora propiedades químicas.

En este estudio el análisis de la fertilidad del suelo se realizó utilizando la fluorescencia de rayos X (XRF), para determinar la concentración de nutrientes en ppm (mg/kg). Esta es una técnica no destructiva, que puede determinar los elementos que se encuentran en una muestra. Los resultados obtenidos del suelo para macronutrientes se muestran en la tabla 15 y para micronutrientes en la tabla 16:

**Tabla 15.** Macronutrientes para conocer la fertilidad del suelo, obtenidos del equipo de fluorescencia de rayos X. Donde el suelo es el tratamiento sin fertilizar, T1: 25% lixiviado de lombricomposta, T2: 50%, T3: 75%, T4: 100%, T5: control químico, T6: control agua.

Tratamiento	Macronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Fosforo	Potasio	Azufre
Suelo	3402 b	16645 e	4173 f
T 1	3344 b	24966 a	21856 b
T 2	3530 b	23386 b	15794 a
T 3	3284 b	20070 c	27103 d
T 4	3477 b	17170 d	25780 c
T 5	3452 b	14550 f	7057 e
T 6	4291 a	11547 g	21540 c

Posterior a un análisis estadístico de un Anova y una prueba de Tukey, en donde se comparan las medias de los diferentes seis tratamientos efectuados y el suelo, se obtuvo para el fosforo que no existe diferencia significativa entre el suelo fertilizado y el suelo

sin fertilizar, a excepción del tratamiento 6, que es el tratamiento de agua. El fósforo puede provenir del agua que se utilizó para el riego, porque en un estudio realizado en Argentina, para medir nitratos y fósforo en el agua subterránea, se encontró que el 100% de las muestras estaban por encima del límite máximo permisible. Tanto para potasio como para el azufre, se observa la diferencia en donde la lombricomposta aumentó en estos nutrientes en el suelo, dejando por debajo al tratamiento con fertilizante químico y al tratamiento de solo agua (Heredia *et al.*, 2000).

**Tabla 16.** Micronutrientes para conocer la fertilidad del suelo, obtenidos del equipo de fluorescencia de rayos X. Donde el suelo es el tratamiento sin fertilizar, T1: 25% lixiviado de lombricomposta, T2: 50%, T3: 75%, T4: 100%, T5: control químico, T6: control agua.

Tratamiento	Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Fierro	Cloro	Manganeso	zinc
Suelo	11355 e	2990 f	199 b	63 c
T 1	12381 e	8810 a	217 b	76 b
T 2	13164 a	7496 b	287 b	73 b
T 3	14132 c	10246 e	236 b	74 b
T 4	11491 d	14016 c	218 a	74 b
T 5	13617 b	2923 f	225 b	74 b
T 6	13167 c	7992 d	236 b	95 a

De la misma manera, se realizó el análisis estadístico para los micronutrientes como fierro, cloro, manganeso y zinc. En los primeros tres nutrientes se observó un aumento de estos en el suelo que fue fertilizado con lombricomposta, dejando en último lugar al suelo sin fertilizar, caso contrario al zinc, donde se observa que el tratamiento seis, fue el que obtuvo la mayor cantidad de este nutriente, la razón puede ser que el agua contenga zinc, ya que elementos como fierro, cobre, zinc, aluminio, calcio y magnesio se encuentran comúnmente en el agua (Torres-Silva *et al.*, 2020).

#### 4.4 Comparación del cultivo *Solanum lycopersicum var. cerasiforme*.

El diseño experimental del cultivo de tomate Cherry (*Solanum lycopersicum var. Cerasiforme*) se realizó en un diseño en bloques completamente al azar, con seis

tratamientos y 5 repeticiones cada uno, conforme a las dosis y aplicaciones de la tabla 7. El cultivo se sembró en macetas con dos semillas cada una, germinando y observando la primera plántula del tomate a los 7 días de la siembra. Después de que se observa la primera plántula, se dejó crecer el cultivo durante un mes, para tomar medidas de raíz y tallo en centímetros y el número de hojas de cada tratamiento para realizar la comparación.

Con los datos obtenidos, se realizó la Tabla 17, donde se observan los 6 tratamientos del estudio. Se realizó una prueba de Anova de una sola vía y una prueba de Tukey para la comparación de medias. Los datos arrojados del programa minitab 19, infieren en que no existen diferencias significativas entre las medias de los promedios de cada tratamiento, por lo que se puede elegir cambiar el fertilizante químico, por un fertilizante orgánico como el lixiviado de lombricomposta, que es más amigable con el medio ambiente y ayuda a tener una agricultura regenerativa (Laforge *et al*, 2020; Sheraz *et al.*, 2010).

**Tabla 17.** Número de hojas, largo de la raíz (cm), largo del tallo (cm) del cultivo *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme*, para comparar los tratamientos. T1= lixiviado de lombricomposta al 25%, T2= 50%, T3= 75%, T4= 100%, T5= control químico, T6= control agua. Las letras diferentes significan una diferencia significativa entre medias, las letras iguales significan que no existe diferencia entre medias, con las pruebas de Tukey.

Tratamiento	# Hojas	Raíz (cm)	Tallo (cm)
T1	24 a	6 a	14 a
T2	20 a	8 a	12 a
T3	18 a	11 a	14 a
T4	17 a	9 a	10 a
T5	26 a	10 a	16 a
T6	30 a	9 a	16 a

## 5 Conclusiones

El objetivo general de la investigación fue analizar las propiedades microbiológicas y químicas de un biofertilizante para utilizarlo como mejorador de la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos en condiciones semi controladas de invernadero. Este objetivo general se cumplió porque se obtuvieron resultados suficientes.

El lixiviado de humus de lombriz roja californiana en sus cuatro tratamientos con concentraciones de 25%, 50%, 75%, y 100% fue comparado con dos testigos: el tratamiento de agua y el tratamiento de fertilización química. Se identificaron los micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Cl, B, Mo, Ni, Zn) y macronutrientes (Ca, Mg, P, K, N, S) y sus concentraciones utilizando un espectrofotómetro portátil DR1900 marca HACH. Se concluye que el tratamiento cuatro o el biofertilizante al 100% es el que contiene las mayores concentraciones de nutrientes en su análisis nutrimental utilizando el espectrofotómetro portátil DR 1900.

Entre las propiedades fisicoquímicas que se mencionan en la NMX-FF-109-SCFI-2008, se encuentran el pH y la conductividad. Ambos parámetros se encontraron dentro de los rangos permitidos por la norma. Se concluye que hasta el momento los datos encontrados no son perjudiciales para el suelo, pero se recomienda monitorear continuamente estos dos parámetros, porque influyen en los nutrientes que se encontraran en el suelo.

Las propiedades microbiológicas que se evaluaron fueron: coliformes fecales, prueba presuntiva y confirmatoria para *Escherichia coli*, pruebas bioquímicas para identificar el microorganismo que se encuentra en el lixiviado, huevos de helminto. Entre los análisis microbiológicos de la composta se encontró 230 NMP/mL de coliformes fecales y la prueba confirmatoria dio positivo a *E.coli*. Los análisis del lixiviado de la composta obtuvieron 8 NMP/mL de coliformes fecales, y la prueba confirmatoria dio positivo a una bacteria no fermentadora de lactosa, siendo la bacteria *Citrobacter freundii*, la que se identificó utilizando pruebas bioquímicas. Se recomienda continuar con análisis microbiológicos del biofertilizante y probar métodos de esterilización. No se encontraron

huevos de helminto en ninguna muestra de la composta o lixiviado. Se concluye que es necesario de una investigación específica al ámbito microbiológico del lixiviado, para determinar si es seguro utilizar el lixiviado como fertilizante en cultivos que serán utilizados como alimentos.

Para determinar la fertilidad del suelo, se realizó una prueba rápida utilizando un equipo portátil de fluorescencia de rayos X. Los macronutrientes y micronutrientes (potasio, azufre, cloro, manganeso y zinc) aumentaron en las muestras del suelo que fue fertilizado utilizando lixiviado de lombricomposta, comparado con las muestras sin fertilización. Por lo que se concluye, que el lixiviado de lombricomposta ayuda en aumentar los nutrientes que se encuentran en el suelo.

Para comprar el crecimiento del cultivo *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme (tomate cherry), conforme a las dosis y aplicaciones del biofertilizante, comparándolo con el control agua y el testigo químico se midieron el largo de la raíz, el largo del tallo y el número de hojas después de 1 mes de la observación de la primer plántula. Utilizando el diseño experimental del tomate Cherry para la comparación de medias, se concluye que no existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, razón por la que se puede cambiar el fertilizante inorgánico, por uno orgánico como el lixiviado de lombricomposta y obtener resultados favorables.

## Referencias bibliográficas

- Aba, C., Pedroza, A., Trejo, R., Sánchez, I., Samaniego, J., Chávez, J. (2016). Uso de biofertilizantes en la producción de sábila *Aloe vera* (L.) L. N. Burm y calidad de gel. *Investigación y ciencia de la universidad autónoma de Aguascalientes*, 67, 26-32.
- Acosta-Duran, C., Bahena-Galindo, M., Chávez-García, J., Acosta-Peñaloza, D., Solís-Reynoso, M. (2017). Sustrato de lombricomposta para el cultivo de Belén (*Impatiens walleriana* Hook. F.). *Revista Bio ciencias* 4(5). Doi: <http://dx.doi.org/10.15741/revbio.04.05.04>
- Adams, M. (1995). *Fundamentos de química de suelos*. Consejo de desarrollo científico y humanista. *Universidad central de Venezuela: Venezuela*.
- Ahmadpour, R., Armand, N. (2020). Effect of ecophysiological characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) in response to organic fertilizers (compost and vermicompost). *Notulac Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48(3), 1248-2159. DOI:10.15835/nbha48311834
- Altieri, M., Nicholls, C. (2000). *Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable*. 1era edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: México.
- Andaluz Gil, S. (2005). *Estudio de los cambios inducidos por la deficiencia de hierro en el proteoma de plantas*. [Tesis de Doctorado]] Consejo Superior de Investigación Científicas (C.S.I.C), 4.
- Armenta-Bojórquez, A., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J., Apodaca-Sánchez, M. Gerardo-Montoya, L. Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable* 6 (1), 51-56.
- Ayneband, A., Gorooei, A., Moezzi, A. (2017). Vermicompost: An eco-friendly technology for crop residue management in organic agriculture. *Energy Procedia* 141, 667-671.

- Baird, R., Eaton, A., Rice, E. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington.
- Beltrán-Morales, F., Nieto-Garibay, A., Murillo-Chollet, J., Ruiz-Espinoza, F., Troyo-Diequez, E., Alcalá-Jauregui, J., Murillo-Amador, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. *Terra Latino America* 37, 371-378.
- Benton, J. (2012). Fertile soil define en, *Plant nutrition and soil fertility manual* (2da ed, pp. 5-6). CRC Press Taylor & Francis group.
- Boudet, A., Boicet, T., Duran, S., Meriño, Y. (2017). Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Revista centro agrícola*, 44(4), 37-42.
- Britania (2021c). E.M.B. Agar (con eosina y azul de metileno). [Archivo PDF]. [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_6054e713a290e.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_6054e713a290e.pdf)
- Britania. (2021a). MacConkey Agar. [Archivo PDF]. [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_60707267ecda2.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60707267ecda2.pdf)
- Britania. (2021b). Salmonella Shigella Agar. [Archivo PDF]. [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_6070900c78db3.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_6070900c78db3.pdf)
- Britania. (2021d). Verde brillante agar. [Archivo PDF]. [https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl\\_60709e32e6386.pdf](https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_60709e32e6386.pdf)
- Calderón, A., Aguilar, G., Hernández, H., Manzano, B., Caro, A. (2018). Programa de concurrencia con las entidades federativas. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510404/Compendio\\_de\\_Indicadores\\_Monitoreo\\_y\\_Evaluacion\\_Indicadores\\_de\\_Gestion\\_y\\_Resultados\\_2018\\_PCE\\_F\\_Chihuahua.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/510404/Compendio_de_Indicadores_Monitoreo_y_Evaluacion_Indicadores_de_Gestion_y_Resultados_2018_PCE_F_Chihuahua.pdf) 9-24-2020. (Accedido: 14 de octubre del 2020)
- Cancino-Méndez, G., Rosales-Uc, E., Herrera-Chale, F. (2018). La inocuidad de lixiviados de biofertilizante factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista*

*del centro de graduados e investigación* 33, 121-125.

Carrol, K., Morse, S., Mietzner, T., Miller, S. (2016). Jawetz, Melnick, & Adelberg. Microbiología médica. McGrawHill Education 27a edición.

Casierra Posada, F., & Poveda, J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp. cv. Camarosa*). *Agronomía Colombiana* 23(2), 284.

Catalan, G. (2016). El pH del suelo en la agricultura. Obtenido de <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>. (Accedido: 14 de octubre del 2020)

Ceroni, M. (2010). ¿Investigación básica, aplicada, sólo investigación?. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 76(1), 5-6.

Colín-Navarro, V., Domínguez-Vara, I., Olivares-Pérez, J., Castelán-Ortega, O., García-Martínez, A., Avilés-Nova, F. (2019). Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje. *Agrociencia*, 53:161-173.

Cotler, H., Corona, J., Galeana-Pizaña, M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, 101, 1-14. Doi: 10.14350/rig.59976

Cruz, Y., Alayón, J., Morón, A. (2017). Efecto de la fertilización orgánica y de síntesis química en tomate verde (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horn) en Calakmul, Campeche (México). *Avances en investigación agropecuaria* 21(2), 41-53.

Cruz-Hernández, J., Acevedo-Alcalá, P., Báez-Cruz, C. (2015). Fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos en especies hortícolas indicadoras, un método de pre-selección. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3 (5), 964-971.

Díaz, J. (2021). *Efecto del Calcio en el cultivo de Sandía (Citrullus lanatus) y su impacto en el rendimiento*. [Tesis de licenciatura, Universidad técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10305>

- Enríquez-Gómez, E., Soriano-Vargas, E., Talavera-Rojas, M., Navarro, A., Morales, M., Acosta-Dibarrat, J. (2019). Perfil de cepas diarrogénicas de *Escherichia coli* aisladas de borregos muertos en un rastro del Estado de México. *Revista Académica de Ciencia Animal*, 17, 473-475.
- Fassbender H., Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2da edición. IICA: San José, Costa Rica.
- Fernández, M. (2007). Fosforo: amigo o enemigo. *Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar*, XLI (2), 51-57.
- Fernández-Santisteban, M. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas. *Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar*, 51 (2), 70-73.
- Flores, J., Valero, C., Osuna, P., Corral, B., Shukla, M., Salazar, E. (2013). Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fosforo de estiércol bovino. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 211-220.
- Gómez, M. I., Lopez, M. A., & Cifuentes, Y. C. (2006). El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. *Agronomía Colombiana*, 24, 341.
- Grajeda-Cabrera, O., Diaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J., Vera-Nuñez, J. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3 (6), 1261-1274.
- Gutiérrez-Miceli, F., Santiago-Borraz, J., Montes, J., Nafate, C., Abud-Archila, M., Oliva, M., Rincón-Rosales, R., Dendooven, L. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield, and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology* 98, 2781-2786.
- HACH Company [HACH]. (2014a). Iron total. [Archivo PDF]. <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2014b). Manganese. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2014c). Chlorine total. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2014d). Nickel. [Archivo PDF]. <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2015a). Nitrogen Total. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2015b). Hardness Calcium and Magnesium. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2016). Phosphorus reactive (orthophosphate) and total. [Archivo PDF]. <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2017). Copper. [Archivo PDF]. <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2018). Potassium. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2019a). TNT 865 Sulfate. [Archivo PDF].  
<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2019b). Molybdenum, HR. [Archivo PDF].

<https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

HACH Company [HACH]. (2019c). Zinc. [Archivo PDF]. <https://www.hach.com/dr1900-portable-spectrophotometer/product-downloads?id=18915675456>

Heredia, O. S., Fresina, M. E., Santa Cruz, J. N., & Silva Busso, A. A. (2000). Nitratos y fosforo en el agua subterránea de un área antropizada de la región pampeana - buenos aires republica argentina. *Aguas Subterráneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneeas.abas.org/asubterraneeas/article/view/23554>

Hernández, R. (2014). Los enfoques cuantitativo y cualitativo de la investigación científica en M. Rocha Martínez (ed.), *Metodología de la investigación*. (pp. 9-20). Mc Graw Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.

Herrera, M. (2020). *Importancia del fosforo en el incremento de la producción, en cultivos de ciclo corto*. [Tesis de licenciatura]. Universidad técnica de Babahoyo. Facultad de ciencia agropecuarias.

Ilinova, A., Dmitrieva, D., Kraslawski, A. (2021). Influence of COVID-19 pandemic on fertilizer companies: The role of competitive advantages. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102019>

Instituto Nacional de Desarrollo Social [INDESOL]. (2015). Degradados, 64% de los suelos en México [Online]. Disponible en: [https://www.gob.mx/indesol/prensa/degradados-64-de-los-suelos-en-mexico?fbclid=IwAR0T74VmasfD08vPA\\_mWxYxTwFFwHjXDp45BjT7q62z6RVzzlJcZfEHr5KY](https://www.gob.mx/indesol/prensa/degradados-64-de-los-suelos-en-mexico?fbclid=IwAR0T74VmasfD08vPA_mWxYxTwFFwHjXDp45BjT7q62z6RVzzlJcZfEHr5KY) (Acceso: 21 septiembre 2020).

Islam, M., Yasee, T., Traversa, A., Kheder, M., Brunetti, G., Coccozza, C. (2016). Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. *Waste management*, 52, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.042>

Jiménez, B., García-Seminario, R. (2017). Influencia del potasio en el rendimiento y

- calidad del fruto de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Revista de investigación científica* 14(2), 125-131.
- Koneman, E., Allen, S. (2008). Koneman. Diagnóstico microbiológico: texto y atlas en color. 6ª Ed. Médica Panamericana, pp. 226.
- Kyrkby, E., & Römheld, V. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad. The International Fertilizer Society, 9.
- Laforge, J., Dale, B., Levkoe, C., Ahmed, F. (2020). The future of agroecology in Canada: Embracing the politics of food sovereignty. *Journal of Rural Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.10.025>
- Lamprea, A., Herrera, N., Buitrago, J., Ramírez, Y. (2015). *El nitrógeno, ciclo biogeoquímico*. Universidad distrital FJDC: Bogotá DC, Colombia.
- Lindner, M. (2014). Fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Asociación Uruguaya de la Rosa, 5.
- López Millan, A. F. (2000). Adquisición y transporte de hierro en plantas. [Tesis de Doctorado] Consejo Superior de Investigación Científicas (C.S.I.C), 3.
- López, L. (2016). Manual técnico del cultivo de toma (*Solanum lycopersicum*) [Archivo PDF]. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/3143>.
- López, R., Ajmal, F., González-Pérez, J. A., Bello-López, M. A., Burgos, P. (2020). Análisis rápido de enmiendas orgánicas usando fluorescencia de rayos X. *Compostaje Webinars 2020*, 154-158. <http://hdl.handle.net/10261/233085>
- MacFaddin, J. (2003). Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica. Editorial médica panamericana.
- Manahan, S. (2000). Soil environmental chemistry. In *Environmental chemistry* (pp. 474–478). Florida, U.S.: Lewis Publishers.
- Margui, E., González-Fernández, O., Hidalgo, M., Pardini, G., Queralt, I. (2011).

Aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras. *Boletín geológico y minero*, 122 (2), 273-286.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., García-Hernández, J., Rodríguez-Dimas, N., Preciado-Rangel, P., Moreno-Resendez, A., Salazar-Sosa, E., Castañeda-Gaytan, G., De la Cruz, E. (2010). Agricultura orgánica: el caso de México. En: *Agricultura orgánica: tercera parte*. (Ed) García, J., Salazar, E., Orona, I., Hernández, M., Trejo, H. Durango: México.

Martínez, F., Sarmiento, J., Fischer, G., Jiménez, F. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.) *Agronomía Colombiana*, 27(2), 169-178.

Mayorga Castro , A. N. (2020). Efecto del Calcio y Manganeso en el manejo preventivo de *Pyricularia oryzae* en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en la zona de Jujan - Guayas. *Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronomica*, 1.

Mengel, K., Kirkby, E. (2012). Principles of plant nutrition. *Springer Science & Business Media*. Doi: 10.1007/978-94-010-1009-2.

Menzies, E., Schneider, R., Plier, W., Morreale, S., Walter, M. (2020). Returning degraded soils to productivity: water and nitrogen cycling in degraded soils amended with coarse woody material. *Ecological engineering* 157. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2020.105986

Moreno, A. (2019). Programación y control del riego y la fertilización de los cultivos. Ediciones Parainfo, S. A. [https://books.google.com.mx/books?id=HSWVDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=HSWVDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Navarro, G., Navarro, S. (2014). *Fertilizantes. Química y acción*. España: Ediciones Mundi-Prensa.

Nicola, S., Bouzas-Mendoza, A. (2021). El desarrollo de la horticultura en tiempos de

coronavirus en *Avances de la horticultura y la mejora en la calidad de vida*. Fischer, G., D. Miranda, S. Magnitskiy, H.E. Balaguera-López y Z. Molano (eds.). Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá (Colombia). Pp 62-63. Doi: <https://doi.org/10.17584/VIIIHorticultura>

Novoa, M., Miranda, D., Melgarejo, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de agua (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 12 (2), 293-307. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>

Olivares-Campos, M., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J., Ojeda-Barrios, D. (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia* 25(1), 27-37.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Asociación internacional de la industria de los fertilizantes.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura [FAO]. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. E-ISBN 978-92-5-307784-7. Paraguay.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2019). *Código internacional de conducta para el uso y manejo de fertilizantes*. Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). La agricultura y el desarrollo rural de México [Online]. Disponible en: <http://www.fao.org/mexico/fao-en-mexico/mexico-en-una-mirada/es/> (Acceso: 21 septiembre 2020).

Otero, L. D. (2005). Fertilización con zinc en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en suelos de costa y sierra. *Universidad Nacional Agraria la Molina*, 8-9.

Palacios, A., Granados, A., Soto, M., Flores, E. (2021). Composición mineral de lixiviados

(biofertilizante) de lombriz roja californiana. *Tecnociencia Chihuahua*, 14(3), 1-17.  
<https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i3.751>

Peña, E. (2018). Identificación de Enterobacterias, en carne de Ovino fresca y procesada con empleo de biosensores y cultivo bacteriano [Tesis para obtener el grado de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México.

Pino, S., Barros, D., Sisalema, L., Fernández, P., Molina, C. (2020). El costo de remediación del recurso agua por contaminación de coliformes fecales en el Estero Salado, sector La Chala, Guayaquil – Ecuador. *Revista Espacios* 42 (4), 107-120. DOI: 10.48082/espacios-a21v42n04p09

Ramos, C., Castro, A., León, N., Álvarez, J., Huerta, E. (2018). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana* 37, 45-55.

Rincon, A., Martínez, E. (2015). Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Revista de la asociación colombiana de ciencia y tecnología de alimentos* 24(34), 13-25.

Rodríguez Jiménez, T. d., Ojeda Barrios, D. L., Blanco Macías, F., Valdez Cepeda, R. D., & Parra Quezada, R. (2016). Urease and nickel in plant physiology. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 70-73.

Rodríguez, J., Alcalá, J., Hernández, A., Rodríguez, H., Ruiz, F., García, J., Díaz, P. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5, 695-701.

Rodríguez, J., Loredó, C., Alcalá, J., Beltrán, L., Tapia, J., Villar, C., García, J. (2010). Efecto de dosis y momento de aplicación de lombricomposta en la producción de cebollita cambray (*Allium cepa*). *Agricultura orgánica* 10, 99-106.

Rojas, A. (2015). *Aislamiento e identificación de hongos y bacterias hidrocarbonoclastas de suelos contaminados con tres tipos de hidrocarburos*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez: Chihuahua.

- Romero-Gameros, C., Granados-Olivas, A., Ibáñez-Hernández, O., Herrera-Mercado, J. (2021). Evolución piezométrica del acuífero Palomas – Guadalupe Victoria en la cuenca baja del río Casas Grandes, Ascensión, Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 15 (2), 1-14. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i2.802>
- Rucks, L., Garcia, F., Kapián, A., Ponce de Leon, J., Hill M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Facultad de agronomía, Universidad de la República: Uruguay.
- Salvagiotti, F. (2010). Nitrógeno y azufre: sinergismo entre dos nutrientes. *Para mejorar la producción* 43, 53-56.
- Santacruz, J., Castellanos, E., Vázquez, C., Martínez, J., Idilio, H., Gallegos, M., Orona, I. (2018). Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Terra Latinoamericana* 36, 345-354.
- Secretaría de comercio y fomento industrial (SCFI). (2007). NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta)- especificaciones y métodos de prueba.
- Secretaría de comercio y fomento industrial (SCFI). (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua – enumeración de organismo coliformes totales, organismos coliformes fecales (termo tolerantes) y *Escherichia coli* – método del número más probable en tubos múltiples.
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales [SEMARNAT]. (2002). NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]. (2019). Expectativas agroalimentarias 2019. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, pp: 15-16.
- Sheraz, S., Hassa, G., Samoon, S., Rather, H., Dar, S., Zehra, B. (2010). Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of phytology* 2(10), 42-54.
- Torres-González, A., Ramos-Perfecto, V., Hidalgo-Cortés, M. (2017). Caracterización e identificación de microorganismos presentes en lombricomposta y lombriz (*Eisenia*

*foetida*). *Revista de Sistemas experimentales*, 4(13), 33-37.  
[https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas\\_Experimentales/vol4num13/Revista\\_de\\_Sistemas\\_Experimentales\\_V4\\_N13.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num13/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N13.pdf)

Torres-Silva, S., Tapia-Calvopiña, I., Goetschel-Gómez, L., Pazmiño-Salazar, E. (2020). Análisis físico – químico e influencia de los minerales disueltos en el sabor del agua potable, de las principales plantas de tratamiento de Quito. *Enfoque UTE*, 11(4), 57-70. DOI : 10.29019/enfoque.v11n4.533

Towett, E., Shepherd, K., Drake, B. (2016). Plant elemental composition and portable X-ray fluorescence (pXRF) spectroscopy: quantification under different analytical parameters. *X-Ray Spectrometry*. 45, 117-124.

Turner, A., Chi, C., Brown., M. (2018). Application of field-portable-XRF for the determination of trace elements in deciduous leaves from a mine-impacted region. *Chemosphere* 209. 928-934. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.110>

Ventimiglia, L., Torrens, L. (2019). Trigo: mejorando el rendimiento con azufre. (Informe técnico) Recuperado de:  
[https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4989/INTA\\_CRBsAsNorte\\_EEAPergamino\\_Ventimiglia\\_Luis\\_Trigo\\_mejorando\\_el\\_rendimiento\\_con\\_azufre.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12123/4989/INTA_CRBsAsNorte_EEAPergamino_Ventimiglia_Luis_Trigo_mejorando_el_rendimiento_con_azufre.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Villa Castorena, M., Catalan Valencia, E. A., Inzunza Ibarra, M. A., & Ulery, A. L. (2006). Absorción y translocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas con estrés salino. *Rev. Fitotec. Mex*, 29, 79.

Villegas Torres, O. G., Dominguez Patiño, M. L., Martinez Jaimes, P., & Aguilar Cortez, M. (2005). Cobre y Níquel, microelementos esenciales en la nutrición vegetal. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2, 286.

Wang, X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y., Yang, L. (2017). Vermicompost improves Tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history un a Greenhouse Study. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1978.