

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUASAVE



TESIS

*QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERÍA EN INNOVACIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE*

EVALUACIÓN DE DISTINTAS DOSIS DE VERMICOMPOSTA EN VARIABLES AGRONÓMICAS DEL CULTIVO DE MAÍZ

PRESENTA:
LÓPEZ MENDIVIL CARLOS ANTONIO

DIRECTOR:
DR. ADALID GRACIANO OBESO

GUASAVE, SINALOA; FEBRERO DE 2025.

DEDICATORIA

A mis padres, hoy al cerrar este capítulo de mi vida universitaria, no puedo evitar mirar atrás y ver todo el esfuerzo, sacrificio y amor incondicional que me han brindado. Cada logro alcanzado, cada obstáculo superado y cada sueño perseguido han sido posibles gracias a su apoyo constante y sus palabras de aliento. Esta meta no solo es mía sino también de ustedes porque sin su guía y sacrificio nada de esto habría sido posible. Les dedico este logro con gratitud, porque sé que este es solo el comienzo de todo lo que juntos seguiremos celebrando

AGRADECIMIENTOS

Hoy, al concluir esta etapa tan importante de mi vida, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este camino. En primer lugar, a mi familia, por ser mi pilar y dar su apoyo constante y por creer en mí. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. Al Instituto Tecnológico Superior de Guasave, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente y por ser el espacio donde crecí como estudiante. A mis profesores, quienes con su dedicación y esfuerzo compartieron sus conocimientos y experiencias, en especial al profesor Adalid Graciano Obeso, por sus enseñanzas que dejaron una huella en mi formación, gracias por su paciencia y su compromiso. A mis compañeros de escuela, con quienes compartí tantas experiencias, aprendizajes y momentos inolvidables. Gracias por su amistad, por el apoyo mutuo y por hacer de esta etapa una de las más valiosas de mi vida. Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes que, de una u otra manera contribuyeron.

ÍNDICE

Tabla de contenido.	Pág.
<i>DEDICATORIA</i>	<i>III</i>
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	<i>IV</i>
<i>RELACIÓN DE FIGURAS</i>	<i>VII</i>
<i>RELACIÓN DE TABLAS</i>	<i>VII</i>
<i>RELACIÓN DE ANEXOS</i>	<i>VIII</i>
<i>GLOSARIO</i>	<i>IX</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>XI</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>XII</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	<i>3</i>
<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>5</i>
<i>ALCANCES Y LIMITACIONES</i>	<i>7</i>
<i>ANTECEDENTES</i>	<i>8</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i>	<i>13</i>
<i>OBJETIVOS</i>	<i>24</i>
General	<i>24</i>
Específicos	<i>24</i>
<i>HIPÓTESIS</i>	<i>25</i>
<i>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</i>	<i>26</i>
<i>METODOLOGÍA</i>	<i>27</i>
<i>RESULTADOS</i>	<i>33</i>

<i>CONCLUSIONES</i>	36
<i>RECOMENDACIONES</i>	37
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	38
<i>ANEXOS</i>	44

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.-	Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa.....	27
Figura 2.-	Prueba de igualdad de varianzas.....	33
Figura 3.-	Distribución de normalidad de residuos.....	34

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.-	Composición de los tratamientos.....	28
Tabla 2.-	Arreglo del diseño Completamente al Azar de tratamientos.....	29
Tabla 3.-	Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba Tukey al 95% de confianza.....	35

RELACIÓN DE ANEXOS

Anexo 1.-	Toma de muestras para medir variables agronómicas en cultivo de maíz.....	44
Anexo 2.-	Producción de lixiviado de lombriz en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.....	44
Anexo 3.-	Recolección de materia orgánica para la producción de vermicomposta.....	45
Anexo 4.-	Siembra e instalación de diseño experimental en cultivo de maíz.....	46

GLOSARIO

Ciclo de nutrientes: Proceso natural a través del cual los nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio se reciclan en el ambiente, con la ayuda de organismos como lombrices y microorganismos, promoviendo la fertilidad del suelo.

Ciclo de vida del maíz: Conjunto de etapas desde la siembra hasta la cosecha. Involucra fases como la germinación, el crecimiento vegetativo, la floración y el llenado de granos.

Control de enfermedades: El uso de vermicomposta puede influir en la actividad biológica del suelo y ayudar a controlar ciertos patógenos, promoviendo la salud del cultivo de maíz.

Crecimiento vegetativo: Etapa del ciclo de vida de la planta en la que se produce principalmente el desarrollo de raíces, tallos y hojas. Las variables agronómicas relacionadas con este crecimiento incluyen la altura de la planta, la biomasa foliar y el número de hojas.

Dosis: Cantidad de vermicomposta aplicada al cultivo. Las dosis pueden variar dependiendo de los requerimientos nutricionales del maíz y de la condición del suelo.

Efecto de la dosis: La influencia que tiene la cantidad de vermicomposta aplicada sobre las variables agronómicas del maíz. Diferentes dosis pueden generar resultados distintos en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Eficiencia en el uso de fertilizantes: Medida de cuán eficaz es una dosis de fertilizante (en este caso, vermicomposta) para promover el crecimiento de las plantas en comparación con la cantidad aplicada.

Fertilidad del suelo: Capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. La vermicomposta mejora la fertilidad al aportar nutrientes y mejorar las propiedades físicas y biológicas del suelo.

Fertilización orgánica: Uso de fertilizantes de origen biológico, como compost y vermicomposta, para enriquecer el suelo con nutrientes esenciales sin recurrir a productos químicos sintéticos.

Humus: Producto final de la descomposición de materia orgánica, que es altamente nutritivo y mejora la estructura del suelo. La vermicomposta contiene una alta concentración de humus.

Materia orgánica: Componente del suelo formado por restos de plantas y animales en descomposición. Su presencia es crucial para la estructura del suelo, la retención de agua y la fertilidad.

Microorganismos del suelo: Organismos microscópicos como bacterias, hongos y actinobacterias que desempeñan un papel fundamental en la descomposición de la materia orgánica y la mineralización de nutrientes en el suelo.

Nutrientes primarios: Nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas que incluyen nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Son proporcionados por la vermicomposta y otros fertilizantes orgánicos.

pH del suelo: Medida de la acidez o alcalinidad del suelo. Un pH adecuado es fundamental para la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas, especialmente en cultivos como el maíz.

Rendimiento: Cantidad de grano producido por unidad de superficie cultivada. Es uno de los indicadores más importantes para evaluar el éxito de una cosecha. En el caso del maíz, se mide típicamente en toneladas por hectárea.

Rendimiento en biomasa: Medida del total de la masa de la planta, incluyendo raíces, tallos y hojas, antes de la cosecha. Es una variable importante para evaluar el vigor de la planta y su capacidad de fotosíntesis.

Sostenibilidad Agrícola: Prácticas agrícolas que buscan un equilibrio entre la producción de alimentos, la conservación del medio ambiente y el bienestar social. La aplicación de vermicomposta es una práctica que contribuye a la sostenibilidad, ya que mejora la calidad del suelo sin utilizar químicos agresivos.

Tasa de Crecimiento: Velocidad a la cual crecen las plantas en términos de altura, biomasa o desarrollo de hojas. A menudo se mide en diferentes momentos del ciclo de vida de la planta.

Variables agronómicas: Características observables y medibles en los cultivos que permiten evaluar su rendimiento y salud. Ejemplos incluyen el crecimiento de la planta, la altura, el número de hojas, el rendimiento de la cosecha, entre otros.

Vermicomposta: Producto de la descomposición de materia orgánica realizado por lombrices, particularmente lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*). Es un fertilizante natural rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos que mejora la estructura del suelo.

RESUMEN

Un biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos vivos que, al ser aplicados a las semillas, a la superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizósfera o el interior de la planta, favoreciendo su crecimiento al incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales, con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto de distintas dosis de vermicomposta en variables agronómicas y rendimiento del cultivo de maíz en la región de Guasave, Sinaloa. Para alcanzarlo, se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA) donde se evaluaron cinco tratamientos con tres repeticiones, empleando diferentes dosis de vermicomposta. Las variables de respuesta fueron las variables agronómicas del cultivo de maíz, así como el rendimiento en toneladas por hectárea, posteriormente, se realizó un análisis estadístico para obtener un modelo de regresión entre la fertilización y el rendimiento del maíz. Como parte de los resultados, se tiene que el incremento medio en el peso de los granos entre T5 (37.56 gr) y T1 (31.00 gr) es del 21 %, lo que podría ser relevante para productores buscando optimizar rendimientos. Por otro lado, aunque las dosis más altas de vermicomposta (T4 y T5) generan un incremento significativo en el peso de los granos, la inversión adicional podría no justificar el beneficio obtenido en sistemas agrícolas con márgenes estrechos.

Palabras claves: biofertilizante, rendimiento, tratamientos, vermicomposta.

ABSTRACT

A biofertilizer is a substance that contains living microorganisms that, when applied to seeds, the surface of plants or the soil, colonize the rhizosphere or the interior of the plant, favoring its growth by increasing the availability of essential nutrients, based on the above, the objective of this research work was to evaluate the effect of different doses of vermicompost on agronomic variables and yield of the corn crop in the Guasave region, Sinaloa. To achieve this, a Completely Randomized Design (CRD) was established where five treatments with three repetitions were evaluated, using different doses of vermicompost. The response variables were the agronomic variables of the corn crop, as well as the yield in tons per hectare, subsequently, a statistical analysis was performed to obtain a regression model between fertilization and corn yield. As part of the results, the average increase in grain weight between T5 (37.56 gr) and T1 (31.00 gr) is 21%, which could be relevant for producers seeking to optimize yields. On the other hand, although the highest doses of vermicompost (T4 and T5) generate a significant increase in grain weight, the additional investment may not justify the benefit obtained in agricultural systems with narrow margins.

Key words: biofertilizer, yield, treatments, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

La utilización de fertilizantes químicos en la agricultura es la práctica más utilizada para mejorar la producción de los cultivos y atender la creciente demanda de alimentos a nivel global. Sin embargo, su uso excesivo ha levantado serias preocupaciones por los efectos perjudiciales que puede tener tanto en la salud de las personas como en el medio ambiente. El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos para incrementar la producción de maíz en México genera diversos impactos en el medio ambiente. Según el Diagnóstico del Agua en las Américas (Jiménez & Galizia, 2012), el 14% de las descargas contaminantes se debe al nitrógeno. Un uso inadecuado de estos fertilizantes favorece el ataque de fitopatógenos (Apodaca & Quintero, 2008), lo que resulta en una reducción del rendimiento y un aumento en los costos de producción (Ariño et al., 2009).

Los biofertilizantes se presentan como una práctica que reduce los efectos negativos de los fertilizantes químicos, al mismo tiempo que fomenta métodos agrícolas más sostenibles y favorables para el medio ambiente. Un biofertilizante es una sustancia que contiene microorganismos vivos que, al ser aplicados a las semillas, a la superficie de las plantas o al suelo, colonizan la rizósfera o el interior de la planta, favoreciendo su crecimiento al incrementar la disponibilidad de nutrientes esenciales (Vessey, 2003).

El cultivo de maíz representa el 57% de la superficie destinada a granos básicos y oleaginosas, involucrando a más de 2.5 millones de agricultores que contribuyen con más de la mitad de 27 toneladas producidas en 2023 (SADER, 2024). El consumo nacional varía entre 16 y 20 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente un 20% se importa (Trigo & Montenegro, 2002). Un 72% de las unidades productivas se dedican a su cultivo, lo que proporciona empleo al 35-40% de la fuerza laboral agrícola y al 66% de la que trabaja en granos (Salcedo et al., 1993).

Este cultivo genera un tercio del valor total producido en la agricultura y ocupa más de la mitad de la superficie cosechada, se cultiva principalmente en zonas de temporal, además, es un cultivo predominantemente de pequeños productores el 69% del maíz comercializado provino de predios de entre 2 y 10 hectáreas (Fristcher, 1999) .

Para cubrir las necesidades nutricionales del cultivo de maíz, es necesario utilizar grandes cantidades de abonos orgánicos, lo que requiere una alta disponibilidad de residuos orgánicos para su producción, así como condiciones apropiadas para su almacenamiento y aplicación. Una opción viable es emplear menores cantidades de abonos orgánicos y complementarlos con fertilizantes inorgánicos (López et al., 2001).

El compostaje es una técnica fundamental para reciclar residuos orgánicos generados en la agricultura y la ganadería. Una de las principales metodologías consiste en la elaboración de composta por parte del productor, quien puede utilizar los materiales disponibles en su propia unidad de producción (De Luna & Vázquez, 2009). El objetivo de este estudio es evaluar distintas dosis de vermicomposta en cultivo de maíz.

JUSTIFICACIÓN

En la búsqueda de opciones para mejorar los suelos destinados a la agricultura, se utilizan tres tipos de productos biológicos: a) los bioestimulantes, que abarcan aminoácidos, quitosano, extractos de algas y sustancias húmicas; b) la incorporación de material orgánico al suelo, como estiércol, vermicomposta y biocarbón; c) y el uso de inoculantes microbianos, que incluyen bacterias asociadas a leguminosas, hongos micorrízicos arbusculares y hongos ectomicorrízicos (Abbott et al., 2018).

Al explorar alternativas para reducir el uso de fertilizantes químicos en la agricultura, esta investigación se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030, en particular con el objetivo 12 (Producción y consumo responsables), y más específicamente con la meta 12.2, que busca "lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales para 2030" (ONU, 2023). En este contexto, y considerando las crecientes necesidades de alimentar a la población mundial junto con el deterioro ambiental actual, es fundamental disminuir la aplicación de fertilizantes químicos convencionales a través de la biofertilización.

Entre los abonos orgánicos utilizados en diferentes sistemas de producción, la vermicomposta se destaca por ser generada a partir de la ingestión de materia orgánica por lombrices (Atiyeh et al., 2001). Este humus de lombriz se emplea como mejorador del suelo en cultivos hortícolas y como un sustrato no contaminante (Urrestarazu et al., 2001). La vermicomposta contiene sustancias activas que funcionan como reguladores del crecimiento con un elevado contenido de ácidos húmicos. Además, tiene una notable capacidad para retener humedad y una porosidad que favorece la aireación y el drenaje tanto del suelo como de los medios de cultivo (Castillo et al., 2000).

La producción de maíz enfrenta varios desafíos que restringen su rendimiento y afectan el equilibrio del ecosistema. Estos problemas incluyen el control de plagas y enfermedades, el uso de fertilizantes químicos, la gestión inadecuada del agua, la

falta de información por parte de los productores sobre el manejo agronómico y los efectos adversos en el medio ambiente (Álvarez, 2019).

Debido al aumento en los precios de los fertilizantes sintéticos y a los efectos negativos que su uso excesivo tiene sobre la contaminación ambiental, se ha vuelto esencial aplicar los nutrientes de manera racional. A lo largo de los años, se han evidenciado los riesgos asociados con el uso desmedido de fertilizantes y plaguicidas en relación con la salud humana (Nieto et al., 2002). La agricultura orgánica surge como una alternativa para la producción sostenible de alimentos limpios y saludables, ya que se basa en un sistema de producción que no utiliza insumos contaminantes para las plantas, el ser humano, el agua, el suelo y el medio ambiente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso excesivo e indiscriminado de productos químicos está provocando un desequilibrio ecológico a nivel global, evidenciado múltiples alteraciones del entorno natural. La aplicación constante de estos compuestos químicos desempeña un papel crucial en la crisis agrícola, afectando la conservación de los ecosistemas, agotando los recursos naturales y generando efectos negativos en la salud tanto de las comunidades rurales como de los consumidores urbanos. Esta situación subraya la importancia de replantear y adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente (Del puerto et al., 2014).

La constante preferencia por la productividad a corto plazo en lugar de la sostenibilidad ecológica, que ha prevalecido en las últimas décadas, ha dado lugar a un panorama global de contaminación y toxicidad (Bedregal & Guillen, 2024). sumado a esto se realizan otras prácticas agrícolas insostenibles como la labranza excesiva, con lo que se aumenta el rendimiento de los cultivos a expensas de la calidad del suelo.

Como resultado de lo mencionado, la degradación de los suelos se ha extendido a nivel global, y México no es la excepción, ya que la productividad de los suelos en el país está disminuyendo rápidamente. Para abordar este problema, es necesario restaurar la fertilidad del suelo en los sistemas agrícolas, reduciendo la dependencia de insumos externos y utilizando materiales orgánicos que mejoren las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

El compost y la vermicomposta son dos fertilizantes orgánicos que pueden ayudar a resolver los problemas asociados con los estiércoles pecuarios, además de mejorar la calidad del suelo y actuar como fuente de nutrientes para las plantas (Nova, 2017). Por ello, en este estudio se analiza y compara el crecimiento y rendimiento del maíz utilizando distintas dosis de vermicomposta que nos permita

responder el planteamiento ¿Es la vermicomposta una opción sostenible viable en el cultivo del maíz?.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

- El proyecto tiene el potencial de generar información valiosa sobre cómo diferentes dosis de fertilización orgánica impactan en el rendimiento del cultivo de maíz. Esto podrá contribuir al conocimiento científico en el campo de la agronomía y la horticultura.
- Los resultados podrían proporcionar recomendaciones prácticas para optimizar la fertilización en el cultivo de maíz en la región de Guasave, Sinaloa. Esto puede llevar a una mejora en la calidad y el rendimiento de la cosecha.
- Los agricultores y productores locales podrían beneficiarse de los resultados del estudio, ya que podrían adaptar sus prácticas de fertilización para obtener niveles óptimos de producción, con esto aumentar el valor comercial de sus productos.

Limitaciones

- La variabilidad climática en Guasave, Sinaloa, podría influir en los resultados del estudio. Las condiciones climáticas cambiantes podrían afectar la absorción de nutrientes y, por lo tanto, los niveles de fertilización en el maíz.
- Factores externos como enfermedades, plagas y cambios en el suelo, podrían afectar los resultados del estudio. Aunque se puede intentar controlar las condiciones de cultivo en un estudio, no siempre es posible lograr un control total sobre todos los aspectos del entorno; esto podría introducir cierta variabilidad no deseada en los resultados y podría requerir un diseño experimental cuidadoso.
- Los resultados obtenidos en Guasave, Sinaloa, podrían no ser directamente extrapolables a otras regiones debido a las diferencias en el clima, el suelo y las prácticas agrícolas.
- La relación entre la fertilización y el rendimiento es compleja y puede estar influenciada por múltiples factores. Aislar el efecto de la fertilización puede ser desafiante.
- La duración del proyecto podría ser limitada por restricciones financieras.

ANTECEDENTES

Características nutricionales de maíz cultivado con vermicomposta

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de vermicomposta sobre las características químicas, parámetros energéticos y perfil de aminoácidos de híbridos de maíz bajo condiciones de campo y con lluvia de temporal. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones. Se evaluaron tres tratamientos: 1) maíz después de inoculación con una mezcla de hongos micorrízicos arbusculares (Tec Myc 60®) más vermicomposta (V + M); vermicomposta (V) y fertilización química (CF). El contenido de almidón en los granos fue 1.9% más elevado en el tratamiento V+M en comparación con el tratamiento con fertilización química, mientras que la proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, fibra detergente ácida, fibra detergente neutra, fósforo total y fósforo fítico no fueron diferentes entre los tratamientos. Los parámetros energéticos no fueron diferentes entre los tres tratamientos. De los 17 aminoácidos, solo triptófano, leucina, valina, histidina y ácido aspártico fueron más elevados en los tratamientos CF y V en comparación con V+M. En conclusión, es posible cultivar maíz usando vermicomposta como fertilizante porque las características químicas, parámetros energéticos y perfil de aminoácidos en los granos de maíz no son diferentes a los obtenidos en maíz cultivado con vermicomposta y biofertilizantes (V+M) o con maíz cultivado con fertilización química (CF) (Oliva et al., 2019).

Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México

Caracterizar el efecto de un biofertilizante a base de lixiviado de vermicomposta (VCL) en cultivos de relevancia en México, formulado en combinación con: i) fertilizante químico (NPK), ii) una mezcla de dos productos comerciales con microorganismos promotores del crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y iii) melaza. Cuatro tratamientos fueron evaluados: T1 (VCL,

microorganismos, sin melaza y sin NPK), T2 (VCL, microorganismos, sin melaza y con NPK), T3 (únicamente con NPK) y T4 (VCL, microorganismos, melaza y sin NPK), distribuidos en 128 macetas sembradas con ocho especies de cultivos (tomate, chile, sorgo, frijol, chícharo, maíz, calabaza y sandía) (4 réplicas por cultivo) bajo condiciones de invernadero. Después de 6 semanas, se midió la altura de la planta y número de hojas. La significancia estadística se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey. Resultados: Los tratamientos T1 y T2 presentaron los mejores efectos en la mayoría de las plantas. La sandía mostró una mejor respuesta a T3 y en maíz no se observaron efectos significativos. T4 tuvo una influencia negativa en el desarrollo de todos los cultivos, atribuido a la incorporación de melaza. El estudio se llevó a cabo en un corto período de tiempo y no fue posible evaluar la producción de fruto. El VCL combinado con bacterias promotoras de crecimiento y HMA tiene efectos positivos en el crecimiento de tomate, chile, sorgo, chícharo y calabaza; pudiendo reducir la fertilización química en un 35% sin disminuir el rendimiento (Senés et al., 2019).

Evaluación de Vermicomposta y Fertilizante Químico en la Producción de Elote Cultivar VS 536

Las prácticas de manejo, en la producción de elote, son de suma importancia para el buen desarrollo del cultivo, así como la aplicación excesiva de agroquímicos y mínima reincorporación de materia orgánica. Ante esta incertidumbre, la vermicomposta se ha venido utilizando, tomando en cuenta tanto los beneficios físicos, químicos y biológicos que aporta al suelo, como el desarrollo de sistemas productivos sostenibles. La presente investigación consistió en implementar un experimento que permitiera evaluar la producción de elote. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos: T1 y T2, el tamaño por parcela fue de 32 m², con una densidad de 5 plantas/m², teniendo un total de 160 plantas/parcela; en T1 se emplearon dos dosis de 30 gramos de vermicomposta/planta, y en T2 dos dosis de fertilización de 17-17-17 utilizando 20 gramos/planta; las dosis se aplicaron en las etapas fenológicas V2 y VT. Posteriormente, se compararon los resultados

de las variables longitud, grosor y masa del elote en la etapa fenológica R4. T1 presentó resultados superiores a T2, en longitud y grosor, concluyendo que la masa es despreciable, ya que la diferencia entre ambos tratamientos fue de 2.5%. Por lo que es viable sustituir el fertilizante 17-17-17 por vermicomposta (Muraira et al., 2024).

Efecto de un extracto húmico en indicadores productivos en *Zea mays* L

Los extractos húmicos de vermicomposta constituyen una alternativa para la producción agraria sostenible, que permite disminuir el uso de productos sintéticos, agresivos a la salud humana y animal, y reducir los costos de producción, debido a su fácil acceso para los agricultores. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto que ejerce la aplicación foliar de diferentes diluciones de un extracto líquido, rico en sustancias húmicas, obtenido a partir de un vermicompost de estiércol vacuno, sobre indicadores productivos en plantas de maíz (*Zea mays* L.). Bajo un diseño completamente aleatorio, con tres repeticiones, se realizaron aplicaciones de tres diluciones del extracto húmico (1:40, 1:60 y 1:80, v:v) en tres momentos (15, 30 y 45 días después de la siembra), y se asumió como control a un grupo de plantas que se mantuvieron sin aplicación. Se analizaron algunas propiedades del extracto obtenido y se evaluó su efecto sobre los indicadores productivos: número de mazorcas por planta, número de granos por hilera, diámetro de la mazorca (con y sin granos), longitud de la mazorca, número de hileras por mazorca, masa de 100 granos, masa de la producción (con y sin paja) y rendimiento. Para la comparación múltiple de medias se utilizó el test de Turkey al 95% de confianza. Ocho variables manifestaron estímulos ante la aplicación de los lixiviados, mostrándose las mejores respuestas en presencia de las diluciones 1:60 y 1:80 (v:v), con rendimientos por encima de las 12,6 t.ha⁻¹ (considerando la masa de la tusa) (Lima et al., 2020).

Efecto de la aplicación de vermicompost en el comportamiento agronómico de diversos cultivos

La lombricultura es una actividad muy importante, que permite reciclar los desechos que se generan de las actividades agrícolas, agroindustria y municipales, por medio de las lombrices que influyen en los suelos agrícolas desde hace miles de años, mejorando las condiciones de fertilidad en diversos suelos, debido a su fácil manejo. El uso de las lombrices permite la transformación de los desechos orgánicos de manera rápida para producir abono rico en microorganismos llamado vermicompost (VC), con aporte de nutrientes asimilables para los cultivos. Ecológicamente constituye un elemento fundamental para la producción orgánica, brindando un abono eficiente y rentable para el uso agrícola en bajas dosis, sobre todo para pequeños productores. Así, la presente revisión de literatura pretende demostrar el efecto de la aplicación de vermicompost en el comportamiento agronómico de diversos cultivos. Se realizaron búsquedas de información bibliográfica de diversos manuscritos desde 2001 hasta la actualidad, totalizando 46 documentos, mismos que han sido buscados en las plataformas Scopus, Web of Science, Scielo, Redalyc, Latindex 2.0 y Google Académico. Las palabras claves utilizadas para la búsqueda fueron: 'Lombricultura', 'Lombriz californiana y clasificación taxonómica', 'Hábitat y reproducción de la lombriz', 'Sistema digestivo y alimentación de la lombriz', 'Humus de lombriz y suelo' y 'Humus de lombriz y comportamiento agronómico de cultivos'. El humus de lombriz de forma sólida o líquida aplicada de diferentes formas tiene efectos positivos en el suelo y en las plantas, permitiendo un buen desarrollo y generando una alta productividad de diversos cultivos como los 11 analizados esta revisión de literatura (Mantuano & Zambrano, 2023).

Evaluación de la efectividad de tres tecnologías de Compost, vermicompost y precompostaje a partir del acopio de residuos sólidos orgánicos para su aprovechamiento como abono en cultivos agrícolas en el distrito de cerro Colorado - Arequipa 2022

El presente trabajo de investigación trata de la Evaluación de la efectividad de compost, vermicompost y precompostaje a partir de residuos sólidos orgánicos de

la Municipalidad Cerro Colorado, para ello, se efectuó una comparación de tres tecnologías de compostaje (T2), Vermicompostaje (T3) y Precompostaje (T4) con tres repeticiones y se hizo un seguimiento de los parámetros de pH, humedad, temperatura hasta la etapa de maduración durante tres meses. Se realizó una homogenización de los sustratos y fueron llevadas a un área de trabajo de 4.95 m² donde se tomó una muestra inicial de suelo y se habilitaron 18 unidades experimentales de 20x30 cm con los tres tratamientos y adicionando un tratamiento de Abono comercial (T5) en diferentes dosificaciones de 250 y 500 gr: T2-250, T2-500, T3- 250, T3-500, T4-250, T4-500 con dos repeticiones cada uno y un testigo T1. Posteriormente se procedió a la siembra de Triticum (Trigo) en cada bloque, los que se cosecharon después de dos meses analizándose el crecimiento del tallo, raíz, ancho de la hoja y peso de la planta. Los resultados que se observó al introducir los abonos orgánicos provocaron cambios significativos en los parámetros químicos del suelo; un pH inicial de 7.85 a 9.86, conductividad eléctrica de 1.31 a 1.53 mS/cm, M.O 0.79 a 5.33%, P 16.8 a 500.00 mg/kg, K 170.1 a 2334.83 mg/kg, N 0.02 a 0.25 mg/kg, CaCO₃ 0.29 a 1.50%, y los parámetros asimilables por la planta como Na⁺ 2.07 a 1.58 meq/100g, K⁺ 0.565 a 6.40 meq/100g, Ca⁺ 23.91 a 12.65 meq/100g, Mg⁺ 0.79 a 7.99 meq/100g. En conclusión, existe una diferencia significativa entre los diferentes tratamientos con respecto a las variables evaluadas en el crecimiento de la planta, donde el mejor abono es precompostaje con dosis de 250gr y abono comercial a 250gr, donde rendimiento en la producción del cultivo triticum (trigo) obtuvo mayor calidad y cantidad (Benavente & Quispe, 2022).

MARCO TEÓRICO

Cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays*) es una gramínea originaria de Mesoamérica, domesticada hace aproximadamente 9,000 años a partir del teocintle, una planta silvestre de la misma región. Este proceso de domesticación es un ejemplo destacado de evolución bajo selección humana, contribuyendo a la fundamentación de la Teoría de la Evolución de Charles Darwin (CIMMYT, 2024). En la mitología mesoamericana, el maíz tiene un papel central. El "Popol Vuh", texto sagrado de los mayas, relata que los dioses crearon al hombre a partir de una mezcla de maíz amarillo y blanco, simbolizando la importancia de este cultivo en su cultura (Vela, Lo divino, la humano... El maíz en la cosmovisión mesoamericana, 2021).

El maíz blanco es una de las variedades más antiguas y se caracteriza por su grano de color blanco. Es ampliamente utilizado en la alimentación humana, especialmente en la preparación de tortillas y otros platillos tradicionales en México y Centroamérica. Su cultivo y consumo han sido fundamentales en la dieta y cultura de estas regiones desde tiempos precolombinos. La introducción de nuevas tecnologías agrícolas en los últimos años ha impulsado un incremento en la producción de maíz. Los productores han incorporado prácticas avanzadas de cultivo, como el empleo de semillas mejoradas, fertilizantes y pesticidas, lo que ha favorecido tanto el rendimiento como la calidad del grano.

Taxonomía

El maíz, científicamente denominado *Zea mays*, pertenece a la familia Poaceae, también conocida como Gramineae. Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

Dentro de la especie *Zea mays*, se reconocen varias subespecies, entre ellas:

- *Zea mays* subsp. *mays*: el maíz cultivado comúnmente.
- *Zea mays* subsp. *mexicana*: conocido como teocintle, considerado el ancestro silvestre del maíz moderno.
- *Zea mays* subsp. *huehuetenangensis*: una subespecie menos conocida, encontrada en regiones específicas de Guatemala.

Esta clasificación refleja la diversidad y evolución del maíz desde sus ancestros silvestres hasta las variedades cultivadas en la actualidad (Vela, 2022).

Morfología

Las raíces del maíz son fasciculadas y brindan soporte a la planta. Algunas emergen de los nudos cercanos al suelo, generalmente siendo raíces secundarias o adventicias (Fuentes et al., 2022). Su desarrollo inicia en el embrión e incluye la raíz primaria y las raíces escutelares, que aparecen durante la germinación y desempeñan un papel esencial en la absorción inicial de agua y nutrientes, facilitando el anclaje de la plántula al suelo. Además de estas raíces embrionarias, el maíz desarrolla raíces postembrionarias que forman un sistema radicular extenso en la planta adulta, incluyendo raíces de corona o nodales y raíces aéreas que emergen en los nudos del tallo (Martínez et al., 2011).

El tallo del maíz es simple, erecto y similar a una caña, pudiendo alcanzar hasta 4 metros de altura sin presentar ramificaciones (Fuentes et al., 2022). Es robusto y resistente, compuesto por nudos y entrenudos distribuidos uniformemente. La planta posee entre 15 y 30 hojas alargadas que se adhieren al tallo, con una longitud de 35 a 50 cm y un ancho de 4 a 10 cm. Estas hojas presentan bordes ásperos, ligeramente ondulados y finamente ciliados. Desde el punto de inserción del pedúnculo que sostiene la mazorca, el tallo adquiere una estructura circular y culmina en la panícula o inflorescencia masculina (Flores, 2020).

Las hojas del maíz son largas, lanceoladas, alternas y de nervadura paralela. Presentan vellosidades en el haz y bordes filosos capaces de cortar. Pueden alcanzar hasta 120 cm de longitud y unos 9 cm de ancho (Bravo, 2023).

El maíz posee inflorescencias masculina y femenina en la misma planta. La inflorescencia masculina, conocida como espigón o penacho, es de color amarillo y contiene entre 20 y 25 millones de granos de polen. La inflorescencia femenina, tras ser fecundada, forma la mazorca, que alberga los granos de maíz (Ríos, 2021).

Requerimientos nutricionales

Para que un elemento sea considerado esencial en el desarrollo vegetal, debe influir directamente en los procesos fisiológicos, activar enzimas o ser parte de un metabolito clave. Las plantas requieren 17 elementos esenciales, entre ellos nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), los cuales cumplen funciones estructurales, enzimáticas y reguladoras de la actividad osmótica.

El nitrógeno es fundamental en la producción agrícola, especialmente para cultivos de cereales. Sin embargo, su manejo inadecuado puede generar impactos negativos en el medio ambiente (Orchardson, 2024).

El fósforo, segundo nutriente más importante después del nitrógeno, es clave en el crecimiento del maíz. No obstante, su disponibilidad es limitada, y el aumento en la producción de fertilizantes fosfatados está agotando las reservas mundiales de este elemento (Sanchez E. , 2018).

El potasio es crucial para el crecimiento y desarrollo del maíz, ya que participa en procesos bioquímicos y fisiológicos, como la fotosíntesis y la activación enzimática (Lamilla et al., 2018). Aunque su demanda es menor que la del nitrógeno y el fósforo, sigue siendo indispensable para el rendimiento óptimo del cultivo. Su absorción ocurre a lo largo del ciclo de crecimiento del maíz, siendo esencial para el desarrollo radicular, la formación de hojas y tallos, la floración y el llenado de los granos en la mazorca (Gavilanez & Gómez, 2022).

El calcio es otro elemento esencial, ya que fortalece las membranas y paredes celulares, además de contribuir al equilibrio electrostático dentro de la célula (Lamilla et al., 2018).

Fertilidad y calidad del suelo agrícola

El rendimiento potencial de un suelo agrícola está determinado por su fertilidad, la cual depende de sus características físicas, químicas y biológicas, que interactúan entre sí. A finales del siglo XX, el concepto de “calidad del suelo” comenzó a utilizarse para reconocer las múltiples funciones que desempeña. La Soil Science Society of America, lo definió este término como la capacidad del suelo para operar dentro de un ecosistema, ya sea natural o manejado, permitiendo la producción de plantas y animales, preservando la calidad del aire y del agua, y contribuyendo a la salud humana y al hábitat (García et al., 2012).

Evaluar la calidad del suelo no debe limitarse a un conjunto reducido de indicadores, pues las variaciones en sus condiciones generan diferentes estados en sus propiedades. Se recomienda adoptar un enfoque basado en la funcionalidad del ecosistema, ya que este abarca y relaciona los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo en un contexto particular (Astier et al., 2022).

Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo influyen en su capacidad para absorber, retener y suministrar agua a las plantas, así como en factores que pueden restringir el desarrollo de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración y el desplazamiento del agua a través del perfil del suelo, además del intercambio gaseoso (Navarrete et al., 2011). Algunos de los principales indicadores utilizados para evaluar estas propiedades son la textura, profundidad, conductividad hidráulica, densidad aparente, capacidad de retención de agua y porosidad del suelo (García et al., 2012; Navarrete et al., 2011).

Uno de los aspectos clave de la calidad del suelo es su estructura, la cual influye en la porosidad y la disponibilidad de agua y aire, factores esenciales para el crecimiento de los cultivos. La capacidad de retención de agua está relacionada con la cantidad y distribución del tamaño de los poros, así como con la superficie específica del suelo (Martínez et al., 2008).

Propiedades químicas

Los indicadores químicos del suelo abarcan las condiciones que afectan la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y microbiano (Navarrete et al., 2011).

Entre los principales indicadores químicos se incluyen la disponibilidad de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como el carbono orgánico total y lábil, el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la variación de la materia orgánica (MO) y del nitrógeno total y mineralizable (García et al., 2012; Navarrete et al., 2011).

Las modificaciones en el carbono orgánico afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sanchez et al., 2004). La relación entre carbono orgánico lábil y carbono orgánico total es un indicador del impacto de los sistemas productivos sobre la fracción orgánica del suelo y permite evaluar los cambios en la materia orgánica del suelo (MOS) en función del sistema de labranza, el uso del suelo y su productividad (Martínez et al., 2008).

Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas del suelo reflejan su capacidad para sostener procesos naturales esenciales, siendo indicadores sensibles a los cambios en la dinámica de nutrientes antes de que estos sean detectables mediante análisis químicos. La evaluación de la actividad biológica varía según el tamaño y función de los organismos presentes en el suelo. En general, la biota del suelo representa entre el 1 % y el 3 % del carbono orgánico total, mientras que el carbono microbiano varía entre 100 y 1000 $\mu\text{g C g}^{-1}$ de suelo (Martínez et al., 2008).

Macro y megafauna (2-20 mm): Este grupo incluye invertebrados que desempeñan un papel crucial en la calidad del suelo, ya que su actividad, como la construcción de galerías y el transporte de materia orgánica, contribuye a la formación de hábitats microbianos y al reciclaje de nutrientes (García et al., 2012).

Microorganismos (<100 µm): La microbiota del suelo comprende bacterias, hongos, actinomicetes, protozoos y algas, que participan en la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la estabilidad del suelo (Martínez et al., 2008). Estos organismos influyen en la disponibilidad de nutrientes, el control de patógenos y el crecimiento vegetal (Ferrera & Alarcón, 2007). Algunos indicadores biológicos del suelo incluyen la tasa de respiración, la biomasa microbiana, la actividad enzimática y los subproductos de los hongos.

Los hongos micorrícicos mejoran la absorción de nutrientes esenciales como fósforo, nitrógeno y zinc, además de fortalecer las defensas naturales de las plantas contra patógenos (Ferrera & Alarcón, 2007).

Materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo (MOS) se refiere a un conjunto de restos orgánicos de origen vegetal y animal en distintas fases de descomposición, los cuales se encuentran tanto en la superficie como en el interior del suelo. Además, incluye una fracción biótica activa que contribuye al proceso de descomposición y transformación de estos residuos (Martínez et al., 2008). El carbono orgánico del suelo (COS) es su componente principal, los métodos analíticos permiten medir el COS, mientras que la MOS se estima a partir de este valor mediante factores como el de van Benmelen (1.724), aunque dicha relación puede variar según el tipo de suelo y su composición (Martínez et al., 2008).

La MOS tiene un impacto positivo en la interacción del agua con el suelo. En suelos arenosos, facilita la retención de agua, mientras que en suelos arcillosos mejora la porosidad, permitiendo un mejor drenaje. También proporciona microorganismos beneficiosos (Hernández et al., 2014) y contribuye a la formación de agregados, mejorando propiedades físicas del suelo como la capacidad de retención de humedad (Tejada et al., 2006). Por ello, aumentar la MOS es una estrategia fundamental en la agricultura, ya que su incorporación es esencial para hacer productivos algunos suelos (Hernández et al., 2014).

Dentro de la MOS se pueden distinguir dos fracciones: una fracción lábil, que actúa como fuente de energía y está compuesta por hidratos de carbono, ligninas, proteínas, taninos y ácidos grasos, y una fracción húmica, más estable, que incluye ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas. Las sustancias húmicas son el principal constituyente de la MOS, representando al menos el 50% de su composición (Simpson et al., 2007).

Influencia de la MOS en las propiedades químicas del suelo

La MOS puede modificar el pH del suelo, aumentándolo en suelos ácidos y reduciéndolo en suelos alcalinos. En suelos con bajo contenido de COS, los cambios en este parámetro pueden tener un impacto significativo en la capacidad tampón del suelo, mientras que, en suelos con niveles elevados de COS, las variaciones son menores (Martínez et al., 2008).

Efecto de la MOS en las propiedades físicas del suelo

La MOS mejora propiedades físicas clave, como la formación de agregados estables en el agua, la densidad aparente y la porosidad, factores que optimizan el flujo de aire y agua, así como el crecimiento radicular de las plantas (Moreno et al., 2016). Existe una correlación directa entre el tamaño de los agregados y el contenido de COS lábil, siendo mayor el tamaño de los agregados cuando hay un mayor contenido de esta fracción (Martínez et al., 2008).

Impacto de la MOS en las propiedades biológicas del suelo

La incorporación de materia orgánica beneficia a la macrofauna del suelo, en particular a las lombrices de tierra, las cuales al consumir MOS mejoran la estructura del suelo mediante la creación de galerías que incrementan la macroporosidad, promueven la agregación y facilitan la infiltración del agua. Además, sus excreciones contribuyen a mejorar las propiedades químicas del suelo (Doan et al., 2013).

Por otra parte, los organismos del suelo desempeñan un papel fundamental en la descomposición de residuos orgánicos, participando activamente en el ciclo de nutrientes. Este proceso se lleva a cabo en tres fases: fragmentación inicial de residuos por macro y mega fauna, descomposición de grandes moléculas a través de enzimas producidas por bacterias y hongos, y la asimilación y transformación de los compuestos solubles por la microflora y microfauna del suelo (Martínez et al., 2008).

En conclusión, la MOS juega un papel clave en la mejora de la fertilidad del suelo, regulando sus propiedades químicas, físicas y biológicas, promoviendo así un ambiente más favorable para el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas.

Composta y vermicomposta

El manejo adecuado y la reutilización de residuos orgánicos de origen vegetal, biosólidos y estiércoles animales como fertilizantes y mejoradores del suelo representan una estrategia clave para preservar y recuperar su productividad (Hernández et al., 2014). El compostaje es un método utilizado para transformar estos residuos en humus seguro e idóneo como abono orgánico (Bernal et al., 2009). Desde el punto de vista ambiental, este proceso contribuye a reducir la cantidad de estiércol, eliminar patógenos y semillas de malezas, minimizar olores desagradables y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

El uso de lombrices de tierra en la descomposición de desechos orgánicos permite la producción de un compost de alta calidad, conocido como vermicomposta. Este proceso biológico y ecológico, denominado vermicompostaje, se basa en la interacción entre lombrices y microorganismos para lograr la biooxidación y estabilización de la materia orgánica en descomposición (Doan et al., 2013).

El vermicompost se obtiene cuando la materia orgánica semidegradada atraviesa el sistema digestivo de las lombrices, enriqueciendo el sustrato con mucosas, vitaminas y enzimas que lo convierten en un fertilizante orgánico con alto valor agrícola (Arancon et al., 2008). Se ha demostrado que este material mejora la germinación, el crecimiento y el rendimiento de las plantas, al fomentar la actividad microbiana del suelo y facilitar la mineralización de los nutrientes, poniéndolos a disposición de las plantas en formas asimilables. Además, contiene compuestos bioactivos como hormonas, vitaminas y enzimas que aumentan la fertilidad y calidad del suelo. También se ha reportado que el vermicompost puede reducir los efectos negativos de las enmiendas orgánicas al minimizar la transferencia de nitrógeno mineral y microorganismos al agua (Doan et al., 2013).

Uso del compost y vermicompost en la agricultura

Los abonos orgánicos (AO) influyen en las propiedades del suelo de diversas maneras, ya sea por sus propias características (efecto directo) o por los beneficios que generan en los aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo (Hernández et al., 2014). Diversas investigaciones han demostrado que la incorporación de AO es una estrategia viable para mantener la producción agrícola de forma rentable y con menor impacto ambiental. Se ha comprobado que la fertilización orgánica incrementa la materia orgánica del suelo (MOS), potencia la biomasa microbiana y favorece su actividad, lo que contribuye a reducir enfermedades en los cultivos, especialmente aquellas causadas por patógenos presentes en el suelo. Además, refuerza la resistencia del suelo ante la erosión (Demelash et al., 2014).

Entre los principales beneficios del compost se encuentran: 1) mejora la fertilidad del suelo al incrementar la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); 2) mantiene un pH adecuado para el crecimiento vegetal; 3) estimula la actividad microbiana del suelo (Cruz et al., 2009).

El impacto del compost y vermicompost varía en función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales dependen de las condiciones y materiales utilizados en cada caso (Pérez et al., 2008). Como resultado, la calidad de estos abonos orgánicos puede ser diversa, al igual que sus efectos sobre el suelo y los cultivos.

El uso de compost no solo optimiza las propiedades físicas y biológicas del suelo, sino que también impacta positivamente en la producción y calidad de cultivos. La incorporación de N y C provenientes del vermicompost contribuye a la formación de estructuras coloidales en el suelo, incrementando su capacidad de carga y favoreciendo la humificación. Además, su aporte de Ca, Mg, K y P resulta clave en suelos con baja fertilidad, mejorando la capacidad buffer del suelo y reduciendo la acidez (Durán & Henríquez, 2010).

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de distintas dosis de vermicomposta en variables agronómicas y rendimiento del cultivo de maíz en la región de Guasave, Sinaloa.

Específicos

1. Instalar el diseño experimental de cultivo de maíz en campo del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.
2. Suministrar en 5 lotes distintas concentraciones de vermicomposta para monitorear la variable de fertilización teniendo como referencia un testigo de 200Kg/Ha.
3. Cuantificar las variable agronómicas y de rendimiento en cada uno de los 5 lotes que contienen diferentes concentraciones de vermicomposta.
4. Generar los modelos matemáticos que mejor ajusten a los datos de las variables fertilización vs rendimiento.

HIPÓTESIS

El rendimiento en toneladas por hectárea en los tratamientos donde se aplicó vermicomposta en cultivo de maíz, será en un 20 % mayor en comparación con el tratamiento testigo o sin aplicación de vermicomposta en la región de Guasave, Sinaloa.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿La aplicación de vermicomposta en distintos tratamientos del cultivo de maíz permite obtener un 20 % más de rendimiento en toneladas por hectárea en comparación con el tratamiento testigo o sin aplicación de vermicomposta en la región de Guasave, Sinaloa?

METODOLOGÍA

Área de estudio.

El ensayo se estableció en el campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave, el cual tiene una extensión de 5 hectáreas y está ubicado en el ejido Burrioncito, Guasave, Sinaloa, entre las coordenadas 25° a 26° N, y 108° a 109° O. La población objeto de estudio estuvo definida por una sección formada por 5 surcos de maíz seleccionados con una longitud de 60 metros por surco.

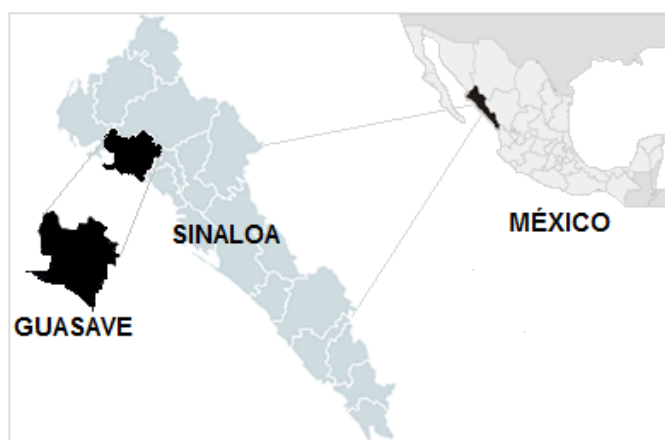


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Guasave, Sinaloa.

Características del suelo.

El campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave (ITSG) presenta un suelo arcilloso. Para la toma y análisis de la muestra de suelo se tomó como referencia el manual de muestreo FERTILAB (2013) y la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones para los estudios de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos.

Control y manejo de plagas y enfermedades en cultivo de maíz.

Durante el desarrollo del cultivo, se presentaron diversas plagas y enfermedades. Para la identificación, control y manejo de plagas y enfermedades durante las distintas etapas del cultivo de sandía, se utilizó la metodología descrita por Bautista-Martínez (2006).

Diseño experimental

Para llevar a cabo este estudio, se estableció un Diseño Completamente al Azar (DCA), un diseño experimental que es sencillo y ampliamente utilizado, en este tipo de diseño, los tratamientos se asignan al azar a las unidades experimentales (UE) o viceversa, lo cual es apropiado cuando las unidades experimentales presentan homogeneidad, es decir, cuando la mayoría de los factores actúan de manera similar entre ellas (Camani-Champi, 2017). Se evaluaron cinco tratamientos con tres repeticiones, empleando diferentes dosis de vermicomposta. Los tratamientos y su composición se presentan en la tabla 1:

Tabla 1. Composición de los tratamientos.

Tratamiento	Dosis de Vermicomposta	Representación
Tratamiento 1	100 g	T1
Tratamiento 2	150 g	T2
Tratamiento 3	200 g	T3
Tratamiento 4	250 g	T4
Tratamiento 5	300 g	T5

Fuente: los autores.

Los tratamientos fueron aplicados en 5 surcos, cada surco experimental tuvo una longitud de 60 metros, dividida en tres secciones de 20 metros para cada tratamiento. En cada tratamiento se cultivaron 180 plantas de maíz, de las cuales

se seleccionaron tres plantas para realizar el muestreo y medir las variables agronómicas. Así mismo, el rendimiento en toneladas por hectárea de cada tratamiento fue evaluado y los datos recolectados se analizaron mediante un análisis estadístico adecuado para el diseño experimental. La organización del diseño en campo se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Arreglo del diseño Completamente al Azar de tratamientos.

Surco 1	Surco 2	Surco 3	Surco 4	Surco 5
T1	T2	T3	T4	T5
T5	T3	T4	T2	T1
T4	T5	T1	T3	T2

Fuente: los autores.

Establecimiento del cultivo de maíz en campo

Para este estudio se utilizarán semillas de maíz del híbrido comercial Pioneer, la siembra se realizará en surcos designados para cada tratamiento, con una densidad de siembra de 8-9 plantas por metro. Previo a la siembra se aplicará una fertilización base de Nitrógeno, Fósforo y Potasio de la planta.

Posteriormente, se realizarán prácticas para el manejo en cuanto a plagas y enfermedades del cultivo de maíz a campo abierto. Una vez establecidos los tratamientos y es importante considerar que se realizarán por triplicado para un menor margen de error.

Variables agronómicas a evaluar

Es una planta anual, cuyo ciclo vegetativo puede oscilar entre los 80 y 200 días desde la siembra hasta la cosecha, según los ciclos de maduración, determinado por las condiciones climáticas en función de la fecha de siembra.

Medición de la altura de planta (cm).

Para evaluar la medición de las propiedades físicas de la planta, se etiquetaron de manera aleatoria 3 plantas con competencia de cada tratamiento, con la finalidad de evaluar su desarrollo durante el proceso. A dichas plantas se les evaluó la longitud de la planta, la cual consiste en tomar la medida desde el primer nodo de la planta hasta la punta de la hoja que emerge en el momento de la medición. Los datos se recolectaron con una cinta métrica de 5m de longitud marca TRUPER®.

Altura de la mazorca (AlMz)

Se evaluó la longitud en cm, desde la base del tallo de la planta, hasta la altura de la mazorca en dirección hacia la espiga.

Número de mazorcas por planta.

Se evaluaron el número de mazorcas por plantas en cada genotipo de maíz.

Longitud de la mazorca (cm).

Guía técnica para la descripción varietal del maíz

Diámetro de la mazorca (cm).

Guía técnica para la descripción varietal del maíz

Número de hileras de granos por mazorca.

Guía técnica para la descripción varietal del maíz

Número de granos por hilera

Guía técnica para la descripción varietal del maíz

Rendimiento de grano

El rendimiento fue obtenido al desgranar las mazorcas de los dos surcos centrales de cada parcela y ajustándolo al 14% de humedad. La cosecha se realizó en forma manual y se desgranó parcela por parcela (tratamiento por tratamiento).

Rendimiento por hectárea se determinó a través del peso total de todas las mazorcas cosechadas por parcela útil, ajustando la humedad del grano al 14% de humedad.

Para calcular el rendimiento se consideró la fórmula empleada por Ortega (2001):

$$Kg\ Ha^{-1} = (PeCa * Kd) * (100 - HC) / - 86 * (10\ 000) / AU$$

Donde:

PeCa = Peso de campo de las mazorcas cosechadas por parcela útil en kg ha⁻¹

Kd = constante de desgrane para ajustar el rendimiento en grano igual a 0.80.

AU = área de parcela útil.

HC = humedad de campo o cosecha.

86 = factor para ajustar el grano al 14% de humedad

Análisis estadístico

Para identificar las diferencias entre los tratamientos del experimento y sus repeticiones, se realizará un análisis de regresión, considerando cada una de las variables evaluadas, se realizará una comparación de medias utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de confianza del 95% y en los casos en donde se encuentre diferencia significativa, las medias serán comparadas utilizando la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los análisis estadísticos serán realizados utilizando el Software Minitab versión 18.

RESULTADOS

El supuesto de homocedasticidad fue evaluado mediante la prueba de Bartlett, como sugiere Levene (1960). Los resultados indicaron un valor p de 0.549, lo que confirma que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de igualdad de varianzas entre los tratamientos. Esto sugiere que las varianzas de los datos son homogéneas, cumpliendo con uno de los requisitos fundamentales para la validez del análisis de varianza (ANOVA). La figura 1 ilustra gráficamente estos resultados, respaldando la consistencia estadística del modelo.

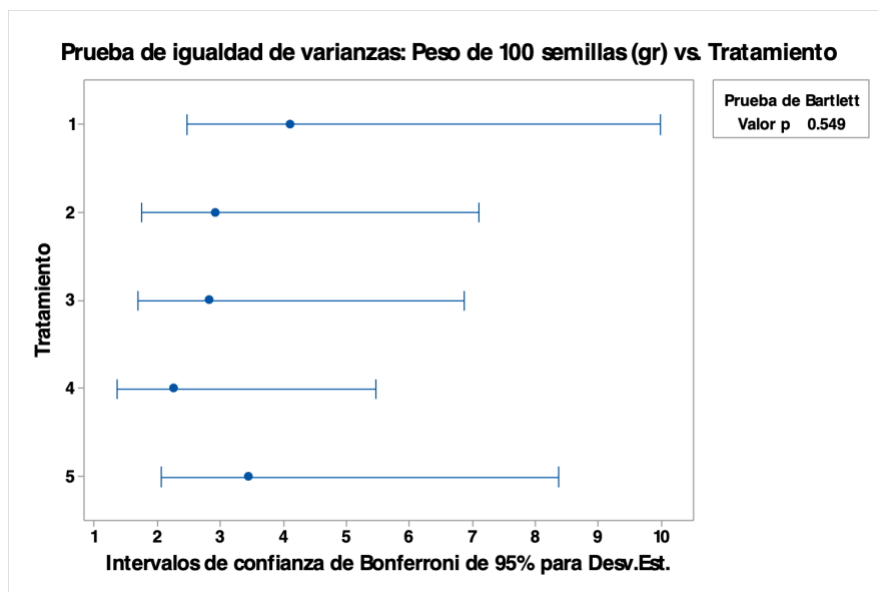


Figura. 2. Prueba de igualdad de varianzas.

El supuesto de normalidad fue evaluado para analizar la distribución de los residuos y confirmar que se ajustan a una distribución aproximadamente normal, tal como lo establece Romero (2012). Los resultados obtenidos se presentan en la figura 2, donde se observa que los puntos se alinean de manera cercana a la línea de referencia de normalidad teórica, lo que respalda el cumplimiento de este supuesto estadístico. Este resultado es fundamental para garantizar la validez del análisis de varianza (ANOVA) empleado en este estudio.

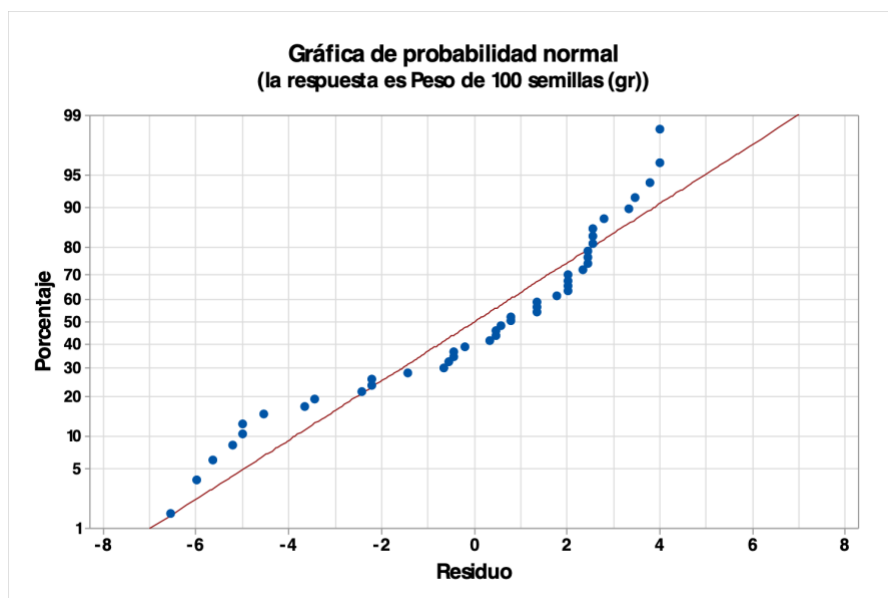


Figura 3. Distribución de normalidad de residuos.

El supuesto de independencia de las observaciones fue evaluado mediante la prueba estadística de Durbin-Watson, obteniéndose un valor de 2.14266, calculado con el software Minitab 18. Este resultado indica que los residuos son independientes, cumpliendo así uno de los requisitos fundamentales para el análisis de varianza (ANOVA). Con todos los supuestos estadísticos validados, se procedió a realizar un ANOVA de una vía, el cual mostró diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de vermicomposta aplicadas en los tratamientos, con un valor p de 0.00021. Estos hallazgos respaldan la existencia de un efecto significativo de las dosis sobre el peso de los granos de maíz.

Se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey, la cual permite evaluar todas las combinaciones posibles de pares de tratamientos para identificar diferencias significativas entre ellos (Quesada et al., 2019). Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3, donde se muestran las comparaciones de las medias y la agrupación de tratamientos en conjuntos homogéneos. Este análisis proporciona una visión detallada de las diferencias entre los tratamientos, destacando cuáles generan un impacto significativo en el peso de los granos de maíz.

Tabla 3. Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba Tukey al 95% de confianza.

Tratamiento	N	Media (gr)	Desviación		Agrupación	
				Estándar		
5	9	37.56		3.43	A	
4	9	35.444		2.242	A	B
3	9	32.222		2.819		B C
2	9	31.667		2.915		B C
1	9	31.00		4.09		C

El incremento medio en el peso de los granos entre T5 (37.56 g) y T1 (31.00 g) es del 21 %, lo que podría ser relevante para productores buscando optimizar rendimientos.

Aunque las dosis más altas de vermicomposta (T4 y T5) generan un incremento significativo en el peso de los granos, la inversión adicional podría no justificar el beneficio obtenido en sistemas agrícolas con márgenes estrechos. Es importante considerar otros factores, como el costo del fertilizante y las condiciones específicas del suelo.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Villegas-Cornelio y Laines-Canepa (2017), quienes encontraron que el vermicompostaje mejora la retención de nutrientes en el suelo, aunque el impacto en el peso de los cultivos puede depender de la calidad inicial del terreno. A pesar de que las diferencias en peso no son significativas en algunos casos, el uso de vermicomposta podría mejorar la salud del suelo a largo plazo, contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

CONCLUSIONES

Las diferentes dosis de vermicomposta tiene un efecto en el desarrollo y crecimiento de la planta del maíz, lo cual se ve reflejado en las variables agronómicas medidas en la presente investigación.

En cuanto al análisis estadístico, se tiene que el valor p de la prueba de Barlett indican que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que las varianzas son iguales entre los grupos ($p < 0.05$), cumpliéndose así el supuesto de homogeneidad de varianzas. De acuerdo a la figura 2, la gráfica muestra que la mayoría de los puntos siguen la línea roja (distribución normal teórica), lo que sugiere que se cumple el supuesto de normalidad. De acuerdo al valor p obtenido en el ANOVA, podemos concluir que las dosis de vermicomposta tienen un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el peso de los granos del cultivo de maíz. Esto indica que las variaciones en las dosis aplicadas influyen directamente en el rendimiento del cultivo. Mediante la prueba de Tukey se realizaron las comparaciones de medias de las dosis en donde se obtuvo la formación de distintos conjuntos: Grupo A (T5,T4), Grupo B (T4,T3,T2) y Grupo C (T3,T2,T1), lo que muestra que en cada grupo conformado no existe diferencia significativa ($p < 0.05$) al aplicar las dosis de vermicomposta para mejoramiento en el peso de los granos en el cultivo de maíz. Esto evidencia que las dosis más altas (250-300 g) generan un rendimiento mayor en peso, aunque las diferencias no son siempre consistentes entre niveles intermedios y bajos.

Si bien las dosis altas no siempre resultan en incrementos significativos, podrían emplearse estrategias de combinación con fertilizantes químicos para maximizar el rendimiento con menor impacto ambiental. Es necesario realizar estudios adicionales que incluyan otros indicadores, como la calidad del suelo y el contenido de nutrientes en los granos, para evaluar el impacto integral de la vermicomposta. Además, sería interesante explorar combinaciones de dosis con diferentes tipos de suelos y cultivos.

RECOMENDACIONES

- Al gobierno y sus respectivas dependencias, que consideren la iniciativa de apoyar a los productores agrícolas de la región de Guasave, Sinaloa que elaboran fertilizantes orgánicos a base de lombricultura.
- A los productores agrícolas de la región de Guasave, que busquen alternativas de financiamiento que ofrece el gobierno el estado de Sinaloa para la producción de biofertilizantes.
- A los diferentes actores de generación del conocimiento en el área agrícola, que se divulgue el conocimiento adquirido en las investigaciones para informar a la población que existen alternativas de fertilización orgánica que podrían disminuir los costos de producción a los productores agrícolas.
- Realizar más investigaciones donde se evalué la comparación entre distintas dosis de fertilizantes químicos y abonos orgánicos producidos localmente en cultivo de maíz.
- Evaluar los rendimientos del cultivo de maíz con distintas dosis de fertilizante orgánicos como la vermicomposta, con el objetivo de generar datos que nos permitan realizar una correlación y con ellos determinar un modelo de predicción del rendimiento del cultivo de maíz en la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L., Macdonald, L., Wong, M., Webb, M., Jenkins, S., & Farrell, M. (2018). Potential roles of biological amendments for profitable grain production a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 34-50.
- Álvarez, W. (2019). *Sustentabilidad del cultivo de maíz en la zona de Ventanas*. Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Apodaca, S., & Quintero, J. (2008). *I Curso de Manejo Sustentable del Maíz: resultados de investigación en el norte de Sinaloa*. Los Mochis, Sinaloa: Fundación Produce Sinaloa.
- Arancon, N., Edwards, C., Babenko, a., Cannon, J., & Galvis, P. M. (2008). Influences of vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied soil ecology*, 91-99.
- Ariño, A., Herrera, M., Juan, T., Estopañan, J., Carramiñana, J., Rota, C., & Herrera, A. (2009). Influence of agriculture practices on the contamination of maize by fumonisinmycotoxins. *J. Food Protection*, 72-75.
- Astier, M., Maass, M., & Etchevers, J. (2022). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 605-620.
- Atiyeh, R., Edwards, C., Subler, S., & Metzcer, J. (2001). Pigmanure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores Technol.*, 11-20.
- Bedregal, S., & Guillen, C. (15 de septiembre de 2024). *Repositorio Institucional Continental*. Obtenido de Efecto de vermicompost en la fitorremediación de arsénico por maíz (*Zea mays*) en un suelo contaminado en Arequipa.: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15159/2/IV_FI_N_107_TE_Bedregal_Guillen_2024.pdf

- Benavente, N., & Quispe, L. (2022). *Evaluación de la Efectividad de Tres Tecnologías de Compost, Vermicompost y Precompostaje a Partir del Acopio de Residuos Sólidos Orgánicos para su Aprovechamiento Como Abono en Cultivos Agrícolas en el Distrito de Cerro Colorado-Arequipa 2022*. AQuequipa, Perú: UCSM.
- Bernal, M., alburquerque, J., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *A review: Bioresource technology*, 5444-5453.
- Bravo, S. (2023). *Desempeño de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto adicionando las cenizas de hoja de maíz*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11103>
- CIMMYT. (8 de Octubre de 2024). Obtenido de La domesticación del maíz y su contribución a la Teoría de la Evolución: https://idp.cimmyt.org/la-domesticacion-del-maiz-y-su-contribucion-a-la-teoria-de-la-evolucion/?utm_source=chatgpt.com
- Cruz, E., Estrada, M., Robledo, V., Ososrio, R., C., M., & Sánchez, R. (2009). Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Univesidad y ciencia*, 59-67.
- De Luna, V., & Vázquez, E. (2009). *Elaboración de abonos orgánicos*. Guadalajara, México: Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Del puerto, A., Suarez, S., & Palacio, E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. . *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 371-387.
- Demelash, N., Bayu, W., Tesfaye, S., Ziadat, F., & Sommer, R. (2014). Current and residual effects of compost and inorganic fertilizer on wheat and soil chemical properties. *Nutrient cycling in agrosystems*, 357-367.
- Doan, T., Ngo, P., Rumpel, C., Van Nguyen, B., & Jouquet, P. (2013). Interactions between compost, vermicompost and earthworms influence plant growth and yield: A one-year greenhouse experiment. *Scientia Horticulturae*, 148-154.

- Durán, L., & Henríquez, C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en planta. *Agronomía mesoamericana*, 85-93.
- Ferrera, R., & Alarcón, A. (2007). *Microbiología agrícola*. Ciudad de México: Trillas.
- Flores, H. (2020). Guía Técnica: El cultivo de maíz. *Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura*, 10.
- Fristcher, M. (1999). El maíz en México, auge y crisis en los noventa. *Cuadernos Agrarios*, 17-18.
- Fuentes, T., Parrales, A., Morán, J., García, J., & Ortega, J. (2022). Caracterización morfológica y etnobotánica del maíz criollo (*Zea mays* .L) en la comuna Sancán, Ecuador. *UNESUM-Ciencias*, 103.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 125-138.
- Gavilanez, F., & Gómez, M. (2022). Definición de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio para una máxima producción del maíz híbrido Advanta 9313 mediante el diseño central compuesto. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23.
- Hernández, T., Chocano, C., & Moreno, J. G. (2014). Towards a more sustainable fertilization: Combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 178-184.
- Jiménez, B., & Galizia, J. (2012). *Diagnóstico del agua en las Américas*. México: Red Interamericana de Academias de ciencias. Foro COnsultivo y Tecnológico, A.C.
- Lamilla, A., Colina, E., Castro, C., Santana, D., García, G., Mora, O., & Goyes, M. (2018). Fertilización con Potasio y Fosfitos, sobre el rendimiento de maíz duro (*Zea mays*) en la zona subcentral litoral. *European Scientific Journal*, 48.

- Levene, H. (1960). Robust tests for quality of variances. In 'Contribution to probability and statistics: Essays in honour of Harold Hotelling,.(Ed. I Olkin) pp. 278-292. Stanford University Press: Redwood City, CA.) Libosvsky, VA, Saeed, DW, and Nemcova, M.(1985). Fecundity of roach in a newly built reservoir. *Folia Zoologica*, 34, 357-372.
- Lima, J., Balmori, D., & Izquierdo, F. (2020). Efecto de un extracto húmico en indicadores productivos en *Zea mays* L. *Revista amazónica. Ciencia y tecnología*, 19-28.
- López, J., Díaz, A., E., M., & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamerica*, 293-299.
- Mantuano, M., & Zambrano, F. (2023). Efecto de la aplicación de vermicompost en el comportamiento agronómico de diversos cultivos. *Biotiempo*, 285-296.
- Martínez, E., Beltrán, P., & López, B. (2011). La arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia Nicolaita*, 51.
- Martínez, E., Fuentes, J., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 68-96.
- Moreno, M., Carmona, E., de Santiago, A., Ordovás, J., & Delgado, A. (2016). Olive Husk Compos Improves the Quality of Intensively Cultivated Agricultural Soils. *Land degradation & development*, 449-459.
- Muraira, M., Rodríguez, R., Pérez, E., Mora, R., Aguirre, R., & Torres, R. (2024). Evaluación de Vermicomposta y Fertilizante Químico en la Producción de Elote Cultivar VS 536. . *Ciencia latina revista científica multidisciplinar*, 3789-3798.
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & M., R. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Contactos*, 29-37.

- Nieto, G., Murillo, A., Troyo, D., & Larrinaga, M. G. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de Chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 417-421.
- Nova, A. (2017). *Efecto del compost y vermicompost de estiércol pecuario, en el suelo y en la producción de jitomate y maíz*. Temascaltepec, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Oliva, M., Palacios, G., Abud, M., Hernández, J., Ruíz, V., & Gutierrez, F. (2019). Características nutricionales de maíz cultivado con vermicomposta. *Terra Latinoamericana*, 407-413.
- Orchardson, E. (8 de Noviembre de 2024). *CIMMYT*. Obtenido de International Maize and Wheat Improvement Center: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de abonos orgánicos aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 10-29.
- Pilla Guaman, A. X. (2024). *Evaluación del desarrollo inicial del cultivo de maíz (Zea mays L.) con la aplicación de fertilización química y orgánica*. Cevallos, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Quesada, D. G., Obando, J. S., & Montero, A. V. (2019). Impacto del desbalance en los tamaños de muestra por tratamiento sobre el desempeño de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. *SERENGUETI*, 38.
- Ríos, C. (2021). *Caracterización morfoagronómica y fisicoquímicas de 15 accesiones de maíz (Zea mays.L) con fines de fitomejoramiento*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica .
- Sanchez, E. (2018). *Efecto del nanofertilizante de fósforo encapsulado con almidón en el crecimiento de las plantas de tomate(Solanum lycopersicum)*

Colinizadas por Bacillus subtilis . Coahuila, México: Centro de Investigación en Química Aplicada.

Sanchez, J., Harwood, R., Wilson, T., Kizikaya, K., Smeenk, J., Parker, E., & Robertson, G. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agronomy journal*, 769-775.

Senés, C., Guardiola, C., & Pacheco, A. (2019). Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México. *Agro Productividad*.

Simpson, A., Song, G., Smith, E., Lam, B., & Novotny, E. H. (2007). Unraveling the Structural components of soil humin by use of solution-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Environmental Science & Technology*, 876-883.

Trigo, Y., & Montenegro, J. (2002). El Maiz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Analisis económico*, 281-303.

Urrestarazu, M., Salas, C., Padilla, I., Moreno, J., Elorrieta, A., & Carrasco, G. (2001). Evaluation of different composts from horticultural crop residues and their uses in greenhouse soils cropping. *Acta Hort.*, 147-152.

Vela, E. (2021). Lo divino, la humano... El maíz en la cosmovisión mesoamericana. *Arqueología Mexicana*, 54-61.

Vela, E. (2022). Taxonomía y botánica. *Arqueología Mexicana*, 12-13.

Vessey, K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 571-586.

Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: l avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 393-406.

ANEXOS

Anexo 1. Toma de muestras para medir variables agronómicas en cultivo de maíz.



Anexo 2. Producción de lixiviado de lombriz en campo experimental del Instituto Tecnológico Superior de Guasave.



Anexo 3. Recolección de materia orgánica para la producción de vermicomposta.



Anexo 4. Siembra e instalación de diseño experimental en cultivo de maíz.

