

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DERIVADOS DEL LOMBRICOMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL PORCINO EN EL
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA GERBERA (*Gerbera jasmonii*)

Tesis

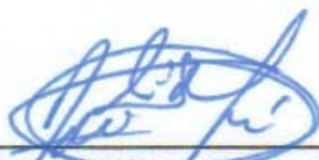
Que presenta GABRIEL ALBERTO BARRIOS LÓPEZ

como requisito parcial para obtener el Grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**DERIVADOS DEL LOMBRICOMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL PORCINO EN EL
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA GERBERA (*Gerbera jasmonii*)**

Tesis

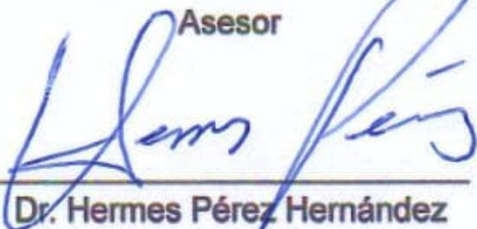
Elaborada por GABRIEL ALBERTO BARRIOS LÓPEZ como requisito parcial
para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión
y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Alonso Méndez López
Director de Tesis



Dr. Antonio Juárez Maldonado
Asesor



Dr. Hermes Pérez Hernández
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor



Dra. Juana Cruz García Santiago
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTO

Esta tesis es el resultado de emociones, sentimientos, lugares, acciones y personas sin las cuales esto no sería una realidad. Expreso mi más sincero agradecimiento a las personas e instituciones las cuales siempre estarán presentes durante el resto de mi vida:

A la Secretaría de ciencia, humanidades, tecnología e innovación (**SECIHTI**) le agradezco la beca otorgada durante los años de estudio de la maestría.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas para permitir mi formación profesional dentro de sus aulas.

Al Dr. Alonso Méndez López por su gran dedicación en mi formación profesional, por su disposición. Con gran admiración y respeto, por brindarme su confianza, su tiempo y paciencia para asesorar la realización del este trabajo de investigación y sobre todo por la confianza y amistad.

Al Dr. Antonio Juárez Maldonado por compartir sus conocimientos y ser un ejemplo académico de esfuerzo y dedicación.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel por abrirme las puertas de la Gloriosa Narro quien con amistad me permitió obtener conocimientos nuevos durante las materias impartidas, le estoy infinitamente agradecido por su tiempo, me permito decirle que admiro su dedicación y su verdadera amistad.

A la Dra. Juana Cruz García Santiago y al Dr. Hermes Pérez Hernández por su apoyo durante el desarrollo de la investigación, agradezco mucho su valioso tiempo y dedicación.

DEDICATORIA

Al Gran Arquitecto del Universo:

A ti, Dios mío.

Siempre a ti padre divino, todo el honor y toda la gloria serán siempre para ti, porque tu luz infinita ha estado resplandeciendo en cada paso, cada escalón de este caminar, tu mano ha estado en los tropiezos, tu abrazo en las tristezas y tu bendición en mis decisiones. Tú me elegiste, tú me fortaleces, tu me cuidas, me guías y también me reprendes. Desde que tengo conciencia me considero tu hijo favorito y no tengo dudas de que lo soy, me has marcado la vida con maravillosos milagros, innumerables pruebas e infinitas bendiciones, a veces no te entiendo, pero sé que lo que viene de ti, es con un propósito superior. Esta tesis no es sólo el fruto de mi trabajo: es el testimonio de lo que haces con alguien cuando lo llamas tu hijo. Te dedico este logro con todo el amor que hay en mi alma, sabiendo que, aunque el mundo pueda no comprenderlo, yo siempre seré Tu Hijo Predilecto, al que abrazas sin reservas, que corriges con ternura, y al que jamás abandonas.

A las personas más importantes de mi vida,

Mi esposa:

Este logro es tuyo, **Eneida Adilene Pérez Velasco**, porque nada se logra si uno no es feliz, y compartir la vida contigo es mi felicidad y una gran bendición, tu amor, tus consejos, tu inteligencia, tu fortaleza y tu ejemplo han sido el impulso para concluir esta etapa, te admiro profesionalmente, pero más admiro tu ser. Gracias por acompañarme, ayudarme y también por soportarme. Gracias por nuestro hogar, que es lo más importante en el lugar en donde andemos rodando. Te Amo con el alma, Mi Eneida. Gracias mi vida por enseñarme el maravilloso camino de esta noble profesión, juntos lo logramos.

Mis hijos:

Para ustedes **Fadia Marina, Ángel Emmanuel y Gabriel Salvador** porque, quiero que sepas que en la vida no hay imposibles, que los miedos son solo límites de la mente, porque algún día quiero verlos volar alto, quiero verlos ser libres. Quiero que sepan que lo logré y que siempre estuvieron presentes.

Mis padres:

Los logros son para usted, **Anita del Rosario López Santis** ^(†) porque, aunque no esté físicamente conmigo, su amor, sus enseñanzas y su fuerza me acompañan cada día. Usted fue mi primer refugio, mi guía y mi razón para seguir adelante incluso cuando todo parecía difícil. Desde aquellos días en que éramos solo usted y yo contra el mundo, me enseñó que la vida se enfrenta con dignidad, con lucha, con fe y, sobre todo, con amor. Recuerdo el día que le conté que había sido aceptado en la maestría, se llenó de orgullo y esperanza, como si, por un momento, el esfuerzo de todos esos años cobrara sentido. No alcanzó usted a verme concluir este camino, pero sé que sigue conmigo. En cada logro, en cada lágrima que limpié pensando en usted. Esta tesis es una promesa cumplida; es mi manera de decirle “*gracias*” y “*lo logré*”.

Un milagro de la vida fue un señorón que, sin compartir sangre, me ofreció su amor como un verdadero padre. A usted, **Antonio Díaz Aguilar** ^(†), le agradezco por las palabras de aliento, por cada gesto silencioso que me sostuvo cuando sentía que no podía más. Lo amé y lo amo, ser padre no lo define la biología, sino el corazón. Estuvo, creyó en mí, y sembró confianza donde sólo había miedo.

Esta dedicatoria es para ustedes: para la mujer que me dio la vida y me enseñó a pelear por mis sueños, y para el hombre que llegó a ser mi Padre. Ustedes son mi cimiento. Gracias por levantarme en mis caídas, y por mostrarme que el amor verdadero trasciende los lazos de sangre y el tiempo. Cada página de este trabajo lleva impresa su memoria, su legado y el eco de su amor. Esta tesis no solo representa un logro académico, es el testimonio de una historia marcada por la resiliencia, el amor incondicional y la esperanza.

Gracias por ser mi origen, mi impulso y mi destino.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
Lista de Tablas	viii
Lista de Figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
Importancia y cultivo de la Gerbera	5
Taxonomía y morfología	6
Fertilización en cultivos ornamentales	10
Rol de los nutrientes en el desarrollo de las plantas ornamentales	11
Limitaciones del uso de fertilizantes químicos	14
Lombricomposta: una alternativa para la reducción de fertilizantes químicos	15
Proceso y factores que influyen en la calidad de la lombricomposta	17
La lombriz: ciclo de vida y mecanismo del principal actor de la lombricomposta	19
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Ubicación del área de estudio	22
Etapas I: Producción de las lombricompostas y lixiviado	22
Etapas II: Establecimiento del cultivo de gerbera y aplicación de tratamientos	23
Variables evaluadas en las plantas	23
Análisis mineral de lombricomposta y lixiviado	24
Análisis estadístico	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26

Etapas 1. Características los tipos de lombricompostas y lixiviados de lombricomposta.	26
Etapas 2: Efectos de la lombricomposta y lixiviado de lombricomposta en la gerbera	31
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	46

Lista de Tablas

Tabla 1. Taxonomía de la Gerbera	6
Tabla 2. Composición mineral de las lombricompostas de estiércol bovino y porcino, así como sus combinaciones.....	28
Tabla 3. Composición mineral de los lixiviados de lombricompostas de estiércol bovino y porcino, así como sus combinaciones.....	30
Tabla 4. Efecto del tipo de lombricompostas, proporción agregada de lombricomposta al sustrato base de crecimiento y la no-aplicación y aplicación de lixiviado de lombricomposta sobre los caracteres de crecimiento y desarrollo de las plantas de gerbera.....	32
Tabla 5. Efecto del tipo de lombricompostas, proporción agregada de lombricomposta al sustrato base de crecimiento y la no-aplicación y aplicación de lixiviado de lombricomposta sobre caracteres de calidad de flores de gerbera.....	41

Lista de Figuras

Figura 1. Morfología de la planta de en <i>Gerbera jamesonii</i>	7
Figura 2. Ubicación de los tipos de flores en <i>Gerbera jamesonii</i>	8
Figura 3. Flores tipo “disc” en <i>Gerbera jamesonii</i>	9
Figura 4. Fruto de <i>Gerbera jamesonii</i>	10
Figura 5. Mecanismo de acción de los órganos internos de <i>Eisenia fetida</i> ..	21
Figura 6. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre las unidades SPAD (a), la altura del tallo (b) y la longitud de la raíz (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$)	35
Figura 7. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre el peso fresco de hojas (a), el peso fresco de raíces (b) y el peso fresco total (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).....	37
Figura 8. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre el peso seco de hojas (a), el peso seco de raíces (b) y el peso seco total (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).....	39
Figura 9. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre la altura del pedúnculo (a), el diámetro del pedúnculo (b), el diámetro del capítulo (c), el número de flores por planta (d) y la vida poscosecha (e) de plantas de	

gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).....

RESUMEN

DERIVADOS DEL LOMBRICOMPOSTAJE DE ESTIÉRCOL PORCINO EN EL
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA GERBERA (*Gerbera jasmonii*)

POR

GABRIEL ALBERTO BARRIOS LÓPEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ALONSO MÉNDEZ LÓPEZ
(DIRECTOR DE TESIS)

Saltillo, Coahuila

Agosto 2025

La lombricomposta es considerada como una alternativa sostenible para reducir la dependencia y el uso de fertilizantes inorgánicos y mejorar la producción agrícola debido a que esta aporta nutrientes fácilmente disponibles para las plantas. En este trabajo, se determinaron los efectos de la lombricomposta a base de estiércol porcino (P) y bovino (B) en el crecimiento y floración de *Gerbera jamesonii* cultivada bajo condiciones de casa sombra (30% sombreo). El sustrato base tradicional fue una mezcla 1:1 de perlita y peat moss (v/v). Los tratamientos consistieron en la incorporación de lombricomposta en tres proporciones (0%, 15% y 30%) de cinco lombricompostas: 100% de estiércol porcino (100P0B), 75% estiércol porcino con 25% estiércol bovino (75P25B), 50% de ambos estiércoles (50P50B), 25% estiércol porcino con 75% estiércol bovino (25P75B) y 100% estiércol bovino (0P100B) así como la no-aplicación y aplicación de lixiviado de la lombricomposta 100P. La lombricomposta, generalmente a proporción del 15% con aplicación de lixiviado usando la mezcla 75P25B tuvo efectos positivos significativos sobre la altura, número de hojas, acumulación de materia seca, número de flores y tamaño de la flor en comparación con el control. El uso de lombricomposta en el sustrato de crecimiento mejora el comportamiento agronómico y la productividad de la gerbera.

Palabras clave: Compostaje, lixiviado, floricultura sostenible, sustrato

ABSTRACT

DERIVATIVES OF VERMICOMPOSTING OF SWINE MANURE ON THE
GROWTH AND QUALITY OF GERBERA (*Gerbera jasmonii*)

BY

GABRIEL ALBERTO BARRIOS LÓPEZ
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. ALONSO MÉNDEZ LÓPEZ
(THESIS ADVISOR)

Saltillo, Coahuila

August 2025

Vermicompost is considered a sustainable alternative to reduce dependence on and the use of inorganic fertilizers, as well as to enhance agricultural production, due to its provision of readily available nutrients for plants. In this study, the effects of vermicompost derived from pig and cattle manure on the growth and flowering of *Gerbera jamesonii* cultivated under shade house conditions (30% shading) were evaluated. The base substrate consisted of a 1:1 mixture of perlite and peat moss (v/v). Treatments included the incorporation of vermicompost at three proportions (0%, 15%, and 30%) from five types of vermicompost: 100% pig manure (100P0B), 100% cattle manure (0P100B), 50% of each (50P50B), 75% pig manure with 25% cattle manure (75P25B), and 25% pig manure with 75% cattle manure (25P75B), along with the absence or application of leachate from the 100P vermicompost. Vermicompost, particularly at the 15% rate combined with leachate application using the 75P25B mixture, significantly improved plant height, number of leaves, dry matter accumulation, number of flowers, and flower size compared to the control. The use of vermicompost in the growing substrate enhances the agronomic performance and productivity of gerbera.

Keywords: pig-manure, vermicompost, gerbera, growth, quality

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la utilización intensiva de fertilizantes químicos ha tenido consecuencias ambientales significativas, especialmente en los países en desarrollo. El uso reiterado y excesivo de estos agroquímicos no solo ha deteriorado la calidad del suelo, sino que también pueden comprometer la calidad de los productos agrícolas y alterar el equilibrio de los ecosistemas naturales (Devi *et al.* 2022). Así mismo, la dependencia de fertilizantes podría intensificar las dificultades para garantizar la sostenibilidad de la producción alimentaria en las próximas décadas (Joshi *et al.* 2015), lo que hace imprescindible la búsqueda de alternativas sostenibles que permita suministrar nutrientes a los cultivos.

La producción ganadera intensiva, en particular la porcina y la bovina, produce volúmenes considerables de residuos orgánicos, cuyo manejo ineficaz constituye una amenaza relevante para el entorno natural, la salud pública y la sostenibilidad agrícola (Menzi H. *et al.* 2013; Raza *et al.* 2020). En porcicultura, por ejemplo, se generan residuos sólidos y líquidos que incluyen estiércol, restos de alimento, paja, purines y diversos subproductos. La gestión inadecuada de estos desechos puede derivar en la contaminación de suelos y recursos hídricos, la generación de olores desagradables, la proliferación de patógenos y la pérdida de nutrientes esenciales (Villar *et al.* 2017; Thakur *et al.* 2025). Del mismo modo, el estiércol producido en las explotaciones bovinas se constituye en otra fuente relevante de contaminación cuando no se gestiona de manera adecuada. Entre los factores que contribuye a este tipo de impacto destacan las dietas desequilibradas, la alta densidad animal y las limitaciones en las actividades de recolección y tratamientos de excrementos, lo cual favorece la emisión de gases de efecto de invernadero como metano, amoníaco y óxidos de nitrógeno, así como la lixiviación de nitratos hacia aguas subterráneas y acumulación de metales pesados en el suelo (Kulling *et al.* 2001). Por otro lado, la aplicación excesiva o mal planificada del estiércol puede derivar en sobrefertilización, acidificación del suelo y dispersión de patógenos, con repercusiones adversas tanto en la salud humana como en el medio ambiente (Menzi H. *et al.* 2013; Nasiru *et al.* 2013).

Frente a estas problemáticas, el lombricompostaje se presenta como una estrategia viable y ecológica para transformar estos residuos en enmiendas orgánicas de alto valor agronómico, este proceso utiliza lombrices de tierra que, en colaboración con comunidades microbianas, degradan la materia orgánica, mejoran la aireación y aceleran la descomposición de los sustratos (Vodounnou *et al.* 2016) . En el caso del estiércol porcino, la fracción sólida—rica en materia orgánica biodegradable—puede ser sometida a compostaje para reducir patógenos, y posteriormente ser transformada mediante vermicompostaje en un producto estable, humificado y seguro para su uso agrícola (Villar *et al.* 2017; Andleeb *et al.* 2025). Para el estiércol de rumiantes, el vermicompostaje también representa una alternativa efectiva, ya que permite estabilizar los residuos sólidos sin necesidad de procesos intensivos en mano de obra o consumo energético como el volteo frecuente que exige el compostaje convencional (Lalander *et al.* 2015; Katiyar *et al.* 2023; Syarifinnur *et al.* 2023). A diferencia de este último, el vermicompostaje minimiza la pérdida de nutrientes volátiles como el nitrógeno y el azufre, conservando así un mayor valor del fertilizante y reduciendo la emisión de gases contaminantes (Nigussie *et al.* 2016; Panda *et al.* 2022). El lombricompostaje puede transformar, mediante la acción conjunta de lombrices y microorganismos, el estiércol porcino y bovino en un abono orgánico rico en nutrientes (Lim *et al.* 2015); por ejemplo, en un estudio realizado con este proceso de lombricompostaje se obtuvo un aumento en el contenido de los macronutrientes de manera significativa comparado con el compostaje tradicional, además de un mejor balance de la relación carbono/nitrógeno (C/N), la adición de lombrices también incrementó la concentración de micronutrientes después de 90 días (Zhou *et al.* 2022). El vermicompost es utilizado ampliamente en la agricultura debido a sus múltiples beneficios físicos, químicos y biológicos, que incluyen la formación de textura del suelo suelta y desmenuzable, el aporte al suelo de nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B), alta proporción de sustancias húmicas, el equilibrio de pH y el desarrollo de bacterias (*Bacillus*), levaduras (*Sporobolomyces* y *Cryptococcus*) y hongos

(*Trichoderma*) (Olle 2019a). El crecimiento y la calidad de las plantas está estrechamente relacionada a una mejor calidad del suelo, se han reportado que el efecto del vermicompost aumentó la altura de la planta y el área foliar, longitud, diámetro y peso de las mazorcas de maíz (Fahrurrozi *et al.* 2023), asimismo se reportó que en plantas de brócoli tratadas con vermicompost exhibieron un mejor crecimiento y rendimiento (Rabbee *et al.* 2020). En el cultivo de tomate se compararon cuatro tipos de fertilización: convencional con urea, compost de pollinaza, vermicompost y ningún fertilizante, los resultados mostraron que el vermicompost promovió un mejor el crecimiento de las plantas, diámetro de tallo, altura y rendimiento de frutos (Wang *et al.* 2017). Otro estudio reportó que en cultivos de pasto, rábano, cebolla y caléndulas se confirmó el efecto positivo de la vermicompost y se reportó que el pasto tuvo un mayor crecimiento, el rábano presentó mejor longitud de follaje, aumento en peso y diámetro, también observó aumento en la longitud de hojas, peso y diámetro de las cebollas, las caléndulas tuvieron brotes más enérgicos y de mayor longitud, diámetro del tallo, diámetro de las flores y el número de inflorescencias también fueron mayores (Kovshov and Iconnicov 2017a).

Gerbera jamesonii L. se cultiva en todo el mundo y es famosa por la amplia variedad de colores, flores grandes y brillantes que constituyen una porción del comercio ornamental mundial, considerada dentro de los cinco cultivos principales de flores de corte y son consideradas un icono de belleza (Cardoso and Teixeira da Silva 2013; Prodhan *et al.* 2017); sin embargo, se sabe que la producción de esta especie ornamental representa costos elevados para los productores, especialmente ocasionados por el musgo de turba usado como sustrato en la producción de esta flor, además de la aplicación de fertilizantes ricos en nitrógeno (Ali *et al.* 2024). El cultivo de gerbera es adaptable a diferentes condiciones climáticas, y dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo, pueden producir flores en pocas semanas (Prodhan *et al.* 2017) lo que permite cosechas más frecuentes, es una especie de fácil propagación a través de semillas y esquejes de tallo. Por lo que, la principal preocupación es la búsqueda de la adecuada composición del sustrato de crecimiento para el cultivo y, en

consecuencia, en la disponibilidad de nutrientes, en este contexto, se espera que la adición de los derivados del vermicompost de estiércol porcino y las combinaciones con estiércol bovino mejoren disponibilidad de nutrientes y la absorción de estos por las plantas, lo que contribuya al suministro de elementos esenciales que optimicen el crecimiento, la calidad de la flor y la productividad del cultivo.

Hipótesis

El lombricompostaje, ya sea exclusivamente con estiércol porcino o en combinación con estiércol bovino, generará enmiendas orgánicas con características físicas y químicas apropiadas para favorecer el crecimiento vigoroso de las plantas de gerbera y la producción de flores de alta calidad

Objetivo general

Elaborar la lombricomposta y obtener sus derivados a partir de estiércol porcino solo y mezclado con estiércol bovino, y determinar su efecto en el crecimiento del cultivo de gerbera.

Objetivos específicos

- 1) Elaborar y caracterizar la lombricomposta y el lixiviado obtenido a partir del estiércol porcino y mezclas con estiércol bovino.
- 2) Evaluar el efecto de la lombricomposta de origen porcino y mezclas con estiércol bovino como sustrato en el crecimiento y en la calidad de la flor de Gerbera.
- 3) Determinar el efecto de los lixiviados obtenidos del lombricompostaje del estiércol porcino y mezclas con estiércol bovino en el crecimiento y la calidad de la flor de gerbera.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia y cultivo de la Gerbera

La gerbera (*Gerbera jamesonii* L.), perteneciente a la familia Asteraceae, es una de las flores de corte más valoradas a nivel mundial, comúnmente conocida como "margarita de Barberton" o "margarita de Transvaal", esta especie perenne es originaria de Asia tropical y del sur de África (Soroa 2005). Su popularidad en la industria florícola se debe a su amplia variedad de colores vibrantes, su aplicabilidad tanto como flor de corte como en maceta y su prolongada vida poscosecha, que le permite mantenerse fresca por al menos una semana, estas características la han posicionado entre las diez flores de corte más comercializadas a nivel global (Ajay Bhardwaj and Deepti Singh 2017). El género gerbera L. comprende aproximadamente 30 a 40 especies, siendo *Gerbera jamesonii* la única cultivada comercialmente, siendo ésta el resultado de hibridaciones entre *G. jamesonii* y *G. viridifolia*, lo que ha permitido la obtención de cultivares con una mayor diversidad morfológica y de colores (Malik *et al.* 2013). Su crecimiento es herbáceo y perenne, desarrollándose en matas con inflorescencias solitarias sobre tallos largos y delgados que emergen del follaje. Las flores pueden presentar tonalidades como amarillo, blanco, rojo, naranja, rosa y granate, entre otras (Prodhan *et al.* 2017).

Debido a su sensibilidad a condiciones ambientales adversas, como las altas temperaturas, el cultivo de gerbera en invernaderos o estructuras parcialmente controladas es una estrategia eficaz para garantizar su desarrollo óptimo y su productividad (Sangma *et al.* 2017). El mercado de la gerbera sigue en crecimiento debido a su demanda tanto en el comercio nacional como en el de exportación, su uso no solo está limitado a la decoración floral en eventos y arreglos, sino que también se ha convertido en una opción popular en jardinería y paisajismo (Maitra *et al.* 2020).

La propagación de la gerbera puede realizarse por vía sexual y asexual, sin embargo, la reproducción por semillas presenta alta variabilidad genética y un

crecimiento más lento, lo que la hace menos viable en la producción comercial (Prodhan *et al.* 2017). Más allá de su valor ornamental, las flores de gerbera también tienen un impacto emocional y cultural significativo. Se utilizan en celebraciones religiosas, eventos sociales y como parte de decoraciones en interiores, contribuyendo al bienestar y la estética de los espacios. Su fragancia y colores brillantes han sido fuente de inspiración en el arte y la literatura, reforzando su posición como una de las flores más apreciadas en la floricultura moderna (Malik *et al.* 2013). Con el continuo desarrollo de nuevas variedades y la implementación de tecnologías de cultivo avanzadas, la gerbera seguirá siendo una opción clave en la industria de las flores de corte y ornamentales en los próximos años (Soroa 2005; Maitra *et al.* 2020).

Taxonomía y morfología

El conocimiento detallado de las características botánicas de una especie ornamental es fundamental para comprender su comportamiento agronómico, sus requerimientos de cultivo y su respuesta frente a distintos factores ambientales y de manejo. En este sentido, la *Gerbera jamesonii*, por su valor comercial y alta demanda en la floricultura moderna, merece especial atención. A continuación, se presenta su clasificación taxonómica y una descripción morfológica general, aspectos esenciales para establecer criterios técnicos adecuados en su propagación, nutrición y desarrollo en sistemas de producción sustentables.

Tabla 1. Taxonomía de la gerbera.

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermas)
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae (Compuestas)
Género	<i>Gerbera</i>
Especie	<i>Gerbera jamesonii</i>

Gerbera jamesonii es una planta herbácea perenne que crece formando una roseta basal de hojas. Estas hojas son profundamente lobuladas, de color verde oscuro, con una textura aterciopelada en el envés, y pueden alcanzar hasta 45 cm de longitud. El sistema radicular comienza como una raíz pivotante, pero a medida que la planta madura, desarrolla un sistema fasciculado compuesto por raíces gruesas de las que emergen numerosas raicillas finas (Figura 1).

Las inflorescencias, conocidas como capítulos, se presentan solitarias en largos pedúnculos que pueden medir hasta 50 cm de altura. Estas estructuras florales están compuestas por flores liguladas en la periferia y flores tubulares en el centro, exhibiendo una notable pigmentación (Yu *et al.* 1999). Existen tres tipos de flores en dependencia de su morfología, son de pequeño tamaño y se disponen en espiral sobre el receptáculo (Yu *et al.* 1999) (Figura 1).

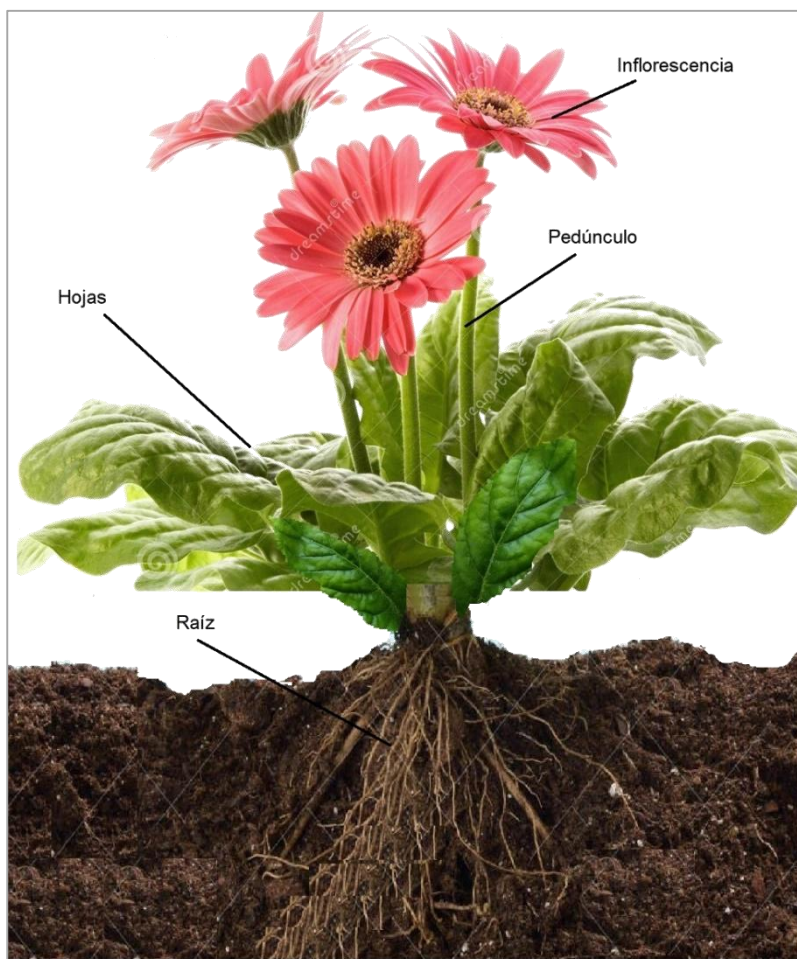


Figura 1. Morfología de la planta de en *Gerbera jamesonii* (elaboración propia).

En la periferia del receptáculo se localizan las flores denominadas "ray", caracterizadas por una lígula prominente y vistosa, producto de la fusión de tres pétalos, además de presentar dos pétalos adicionales poco desarrollados y libres (Swenson and Bremer 1994). Estas flores son de tipo femenino, ya que durante su desarrollo los estambres no se desarrollan completamente y únicamente persisten como dos estructuras filamentosas delgadas, apenas visibles (Figura 2). Hacia la parte central del receptáculo se encuentran las flores "trans", que también presentan una lígula derivada de la unión de tres pétalos, aunque de menor tamaño y con una apariencia menos llamativa en comparación con las flores "ray" (Figura 2) (Carrodegua-Gonzalez and Zuñiga Orozco 2020).

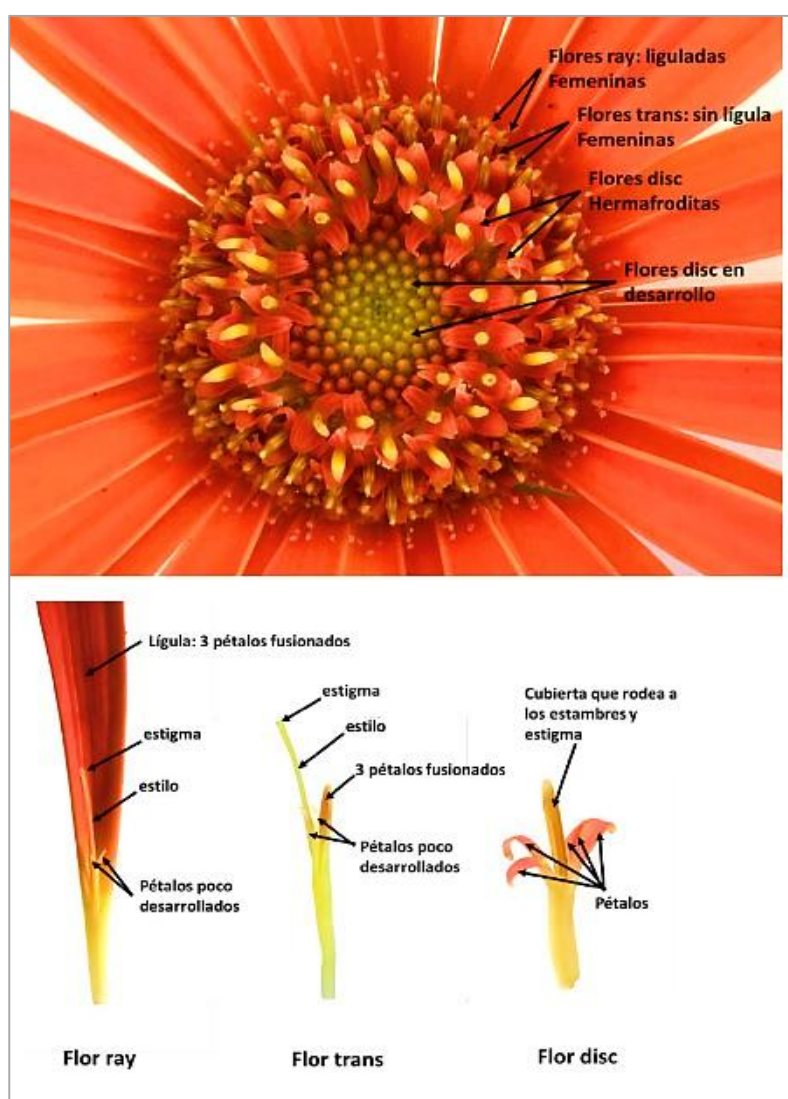


Figura 2. Ubicación de los tipos de flores en *Gerbera jamesonii*.

En la zona más interna del receptáculo se localizan las flores tipo “disc”, las cuales se caracterizan por no presentar lígulas, a diferencia de los otros dos tipos (Carrodegua-Gonzalez and Zuñiga Orozco 2020). Algunas de estas flores muestran una forma bilabiada, con un labio compuesto por tres pétalos fusionados y el otro por dos, aunque también pueden encontrarse ejemplares con los cinco pétalos separados, lo que las hace menos zigomorfas (Harris 1995) (Figura 3). Generalmente, estas flores son hermafroditas y presentan anteras agrupadas en vainas que envuelven al pistilo, cuando el polen alcanza la madurez, las vainas se abren y el estigma comienza a quedar expuesto.

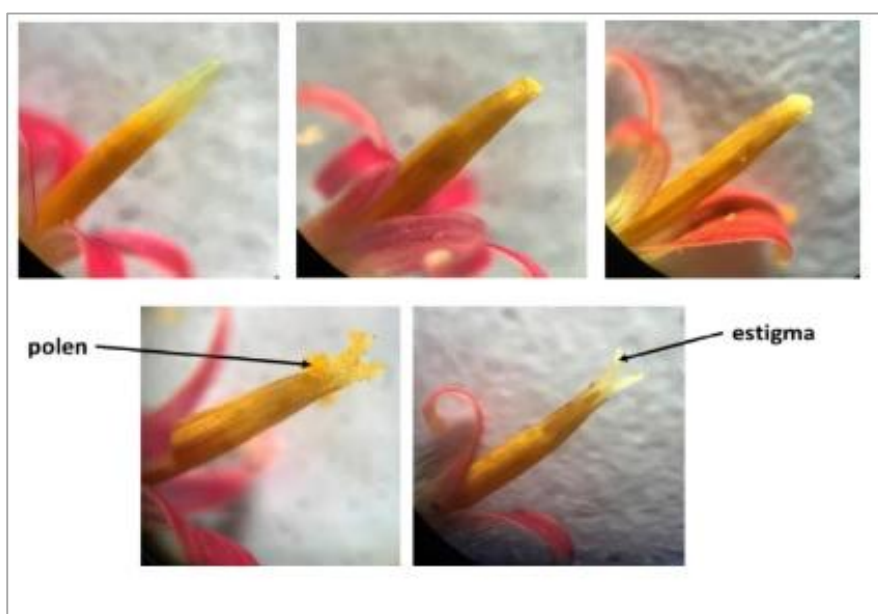


Figura 3. Flores tipo “disc” en *Gerbera jamesonii*.

El fruto de *Gerbera jamesonii* es un aquenio, es decir, un fruto que no se abre naturalmente y que únicamente tiene una semilla, es de color marrón claro a oscuro (Harris 1995; Carrodegua-Gonzalez and Zuñiga Orozco 2020), con una longitud que varía entre 6 y 13 mm, y presenta un vilano (estructura plumosa que puede estar presente en algunos aquenios) en su extremo distal que facilita la dispersión por el viento (Figura 4).

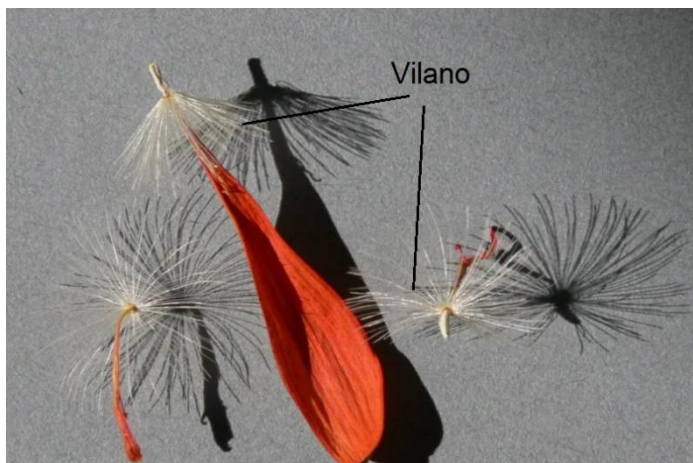


Figura 4. Fruto de *Gerbera jamesonii* (elaboración propia).

Fertilización en cultivos ornamentales

En años recientes, la actividad florícola ha experimentado una notable expansión a nivel internacional. Este incremento en la demanda de especies ornamentales, acompañado por una mayor exigencia del mercado consumidor en términos de calidad y variedad, ha generado la necesidad de incorporar innovaciones tecnológicas, mejorar la capacitación técnica de los productores y establecer sistemas de comercialización y logística más eficaces (Furtini Neto *et al.* 2015).

La producción de cultivos ornamentales con alto valor comercial y mayor rendimiento está directamente vinculada a la eficiencia en los procesos productivos (Wang *et al.* 2008). Aunque los factores genéticos son los principales determinantes de la calidad de los productos vegetales, también intervienen variables externas, tanto de origen natural como inducidas por la actividad humana (Martínez-Ballesta *et al.* 2010). En este marco, la nutrición mineral vegetal constituye un componente clave para el logro de productos agrícolas con mejores atributos de calidad (Marschner 2011).

La calidad de las plantas se relaciona con características físicas, que definen su apariencia, y con aspectos químicos, como el equilibrio nutricional, los cuales son determinantes para satisfacer los estándares requeridos en los mercados de comercialización y consumo (Marschner 2011; Ernest A. Kirkby *et al.* 2023). En el caso particular de las especies ornamentales, tanto la apariencia estética como

el rendimiento productivo son factores cruciales que inciden directamente en su valor económico (Veatch-Blohm *et al.* 2012a).

A pesar de su importancia creciente, los estudios enfocados en la nutrición mineral de especies ornamentales siguen siendo escasos, debido a que la floricultura es una rama relativamente reciente en comparación con otros sistemas agrícolas consolidados (Furtini Neto *et al.* 2015). En muchas ocasiones, los productores aplican esquemas de fertilización basados en recomendaciones generales, lo que puede dar lugar a aplicaciones inadecuadas —ya sea en exceso o deficiencia—, afectando negativamente la calidad de las flores y elevando los costos de producción. Asimismo, el uso empírico de nutrientes en momentos fisiológicos no óptimos limita el desarrollo pleno del potencial productivo de las plantas (Almeida *et al.* 2012). Es fundamental señalar que un régimen nutricional equilibrado no solo favorece la obtención de flores de alta calidad, sino que también fortalece la resistencia de las plantas frente a ataques de plagas y enfermedades (Weinmann *et al.* 2023).

Rol de los nutrientes en el desarrollo de las plantas ornamentales

Un elemento se considera esencial para el crecimiento vegetal cuando su falta impide que la planta complete su ciclo de vida, cuando no puede ser sustituido por otro, y participa directamente en procesos metabólicos (Arnon and Stout 1939). Actualmente, se reconocen 14 nutrientes esenciales, los cuales se clasifican con base en la cantidad que la planta requiere. En primer lugar, se encuentran los macronutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), seguidos por los micronutrientes: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni), que son necesarios en menores cantidades (Kirkby 2023).

Los macronutrientes son esenciales en los procesos metabólicos y el desarrollo vegetal, así como los efectos negativos asociados a su carencia o exceso. El N es el elemento más demandado por las plantas y uno de los principales determinantes del rendimiento agrícola, al intervenir directamente en la formación

de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios, este nutriente es absorbido mayormente como nitrato o amonio, se transforma en aminoácidos en raíces o brotes, y puede mobilizarse internamente en forma de nitrato o aminoácidos (Marschner 2011).

El S se capta del suelo como sulfato y se incorpora en aminoácidos azufrados, como la cisteína, que forman parte de enzimas, coenzimas y metabolitos secundarios como fitoquelatinas (implicadas en la detoxificación de metales) o compuestos defensivos como alicinas y glucosinolatos. Tanto el N como el S son esenciales en las proteínas de reserva de las semillas (Furtini Neto *et al.* 2015). El P, por su parte, forma parte de los ácidos nucleicos y cumple una función clave en la transferencia energética mediante compuestos como el ATP, además de facilitar el transporte de azúcares entre orgánulos celulares. El fitato actúa como reserva de fósforo, especialmente en semillas (Hawkesford *et al.* 2023). El Mg, componente esencial de la clorofila, es crucial para la fotosíntesis, la movilización de fotoasimilados y la síntesis proteica. El Ca fortalece las paredes celulares y membranas, regula el equilibrio osmótico y actúa como segundo mensajero en la respuesta a señales ambientales. Finalmente, el K cumple un rol destacado en la regulación osmótica, esencial para la expansión celular y la apertura y cierre de estomas, además de influir en la carga de sacarosa y el transporte de solutos mediante flujo másico (Marschner 2011; Hawkesford *et al.* 2023).

Ahora bien, respecto a los micronutrientes, el Fe juega un papel crucial en los sistemas redox en las células y varias enzimas. Se describen las estrategias de las plantas dicotiledóneas y gramíneas para adquirir Fe. El Mn y el Cu son importantes para los sistemas redox y como activadores de varias enzimas involucradas en la fotosíntesis, la desintoxicación de radicales superóxido y la síntesis de lignina (Furtini Neto *et al.* 2015). El Zn juega un papel clave en la integridad estructural y funcional de las membranas celulares, la biosíntesis de proteínas y la desintoxicación de radicales superóxido. El Ni está involucrado en el metabolismo del N como componente metálico de la enzima ureasa (Marschner 2011). El Mo es importante para el metabolismo del

N como componente metálico de la nitrogenasa (fijación de N_2) y la nitrato reductasa. El B es crucial para la estabilidad y el funcionamiento de la pared celular y las membranas y facilita la división celular, la elongación de raíces, la polinización y el desarrollo de frutos, mientras que el Cl es esencial para el correcto funcionamiento del fotosistema II y la regulación osmótica celular (Taiz *et al.* 2015; Cakmak *et al.* 2023).

La deficiencia o exceso de nutrientes se presentan primeramente a nivel molecular, seguidas por la acumulación de compuestos que interfieren con las reacciones bioquímicas, provocando desórdenes celulares y, en consecuencia, la aparición de síntomas observables (Marschner 2011; Kutman 2023). Esto indica que, cuando los signos de problemas nutricionales se hacen evidentes, el metabolismo de la planta ya ha sufrido daños considerables, estas manifestaciones pueden variar según la especie, variedad o genotipo, así como por la intensidad del desbalance y las condiciones ambientales (Rosa *et al.* 2012).

En especies ornamentales, cualquier alteración visual en flores o inflorescencias, más allá del rendimiento en sí, puede comprometer significativamente la calidad comercial del producto, repercutiendo en su valor en el mercado (Veatch-Blohm *et al.* 2012b). En crisantemo, utilizando una solución nutritiva con $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de K favoreció parámetros de calidad como el número de hojas, tallos por maceta, y la cantidad y tamaño de inflorescencias (Rodrigues *et al.* 2008; Guerrero *et al.* 2012). El K es esencial durante la floración de una planta ornamental porque participa activamente en el transporte de sacarosa desde las hojas hacia los órganos en desarrollo, como las flores, este transporte se realiza a través del floema y depende de un adecuado gradiente osmótico, el cual es regulado en parte por el K; una deficiencia de potasio puede interrumpir ese transporte de sacarosa, lo que compromete el suministro de energía y compuestos necesarios para el desarrollo floral, afectando negativamente la floración (Furtini Neto *et al.* 2015; Hawkesford *et al.* 2023).

Diferentes estudios han evidenciado diferencias nutricionales entre especies ornamentales e incluso entre órganos diferentes de la misma planta, por ejemplo,

en gerbera se reportó en el ciclo vegetativo y reproductivo, la acumulación en hojas siguiendo el orden: $K > N > Ca > Mg > P > S$, mientras que en flores fue: $K > N > P > Ca > S > Mg$ (Guerrero *et al.* 2012). En plantas de *Aster ericoides*, la extracción de fue en el orden: $K > N > P > S > Mg > Ca > Mn > Fe > Zn > B > Cu$ (Camargo *et al.* 2005). En floricultura, características como la altura de la planta y la longitud del tallo floral son determinantes del valor comercial, al estar vinculadas a criterios de calidad. En iris morado (*Iris germánica* L.), la omisión de N, Ca y P resultó en menor desarrollo en altura (Rosa *et al.* 2012). En jengibre ornamental (*Zingiber spectabile* L.), la omisión de N, K, P, Ca y Mg comprometió el crecimiento (Coelho *et al.* 2012).

Limitaciones del uso de fertilizantes químicos

El uso de fertilizantes químicos ha sido una de las bases del aumento en la productividad agrícola desde mediados del siglo XX. Su aplicación masiva ha permitido alimentar a una población mundial creciente, pero este avance no ha estado exento de consecuencias negativas (Stewart and Roberts 2012). Diversos estudios científicos han demostrado que el uso excesivo e ineficiente de fertilizantes sintéticos conlleva una serie de limitaciones que afectan al medio ambiente, a la salud humana y a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Conley *et al.* 2009; Dox *et al.* 2023).

Una de las principales problemáticas es la baja eficiencia de absorción de los nutrientes aplicados. Se estima que más del 70% del nitrógeno utilizado en los cultivos no es absorbido por las plantas y termina perdiéndose hacia el medio ambiente, principalmente en forma de lixiviación hacia aguas subterráneas o como emisiones gaseosas a la atmósfera (Conley *et al.* 2009). Estas pérdidas no solo representan un desperdicio económico, sino que también causan eutrofización en cuerpos de agua, disminución del oxígeno disuelto y la muerte de organismos acuáticos, alterando ecosistemas completos (Vitousek *et al.* 2009; Zhao *et al.* 2023).

La contaminación de aguas subterráneas por nitratos es otro efecto preocupante. Este fenómeno tiene implicaciones directas para la salud humana, ya que concentraciones elevadas de nitratos en el agua potable se han vinculado con enfermedades como la metahemoglobinemia infantil, además de incrementar el riesgo de ciertos tipos de cáncer y trastornos endocrinos (Ward *et al.* 2005). Por otra parte, el uso continuado de fertilizantes fosfatados puede introducir metales pesados como cadmio y plomo al suelo, lo que a largo plazo representa una amenaza para la seguridad alimentaria, ya que estos elementos pueden ser absorbidos por las plantas y llegar a los consumidores (Ahmad *et al.* 2021).

Otro aspecto relevante es el impacto que tienen los fertilizantes químicos sobre la salud del suelo. A pesar de que inicialmente favorecen el crecimiento vegetal, su uso prolongado puede alterar la microbiota del suelo, reduciendo la diversidad de microorganismos beneficiosos, esto afecta la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y su fertilidad natural, creando una dependencia creciente de insumos externos (Geisseler and Scow 2014; Pahalvi *et al.* 2021).

En este contexto, se vuelve urgente repensar el modelo actual de fertilización. Si bien los fertilizantes químicos seguirán jugando un rol importante en la agricultura, su uso debe ir acompañado de prácticas más sostenibles como el manejo integrado de nutrientes, el uso de biofertilizantes, la rotación de cultivos y el aprovechamiento de residuos orgánicos. Solo así será posible equilibrar la necesidad de producir alimentos con la protección de los recursos naturales y la salud de las futuras generaciones.

Lombricomposta: una alternativa para la reducción de fertilizantes químicos

La agricultura orgánica es un método agrícola moderno y sostenible que promueve el uso responsable de los recursos naturales, mejora la salud del suelo y reduce la dependencia de insumos químicos. Este tipo de agricultura se basa en prácticas que favorecen la actividad biológica del suelo y el reciclaje de residuos, utilizando fertilizantes orgánicos como principal fuente de nutrientes (Fuaad Abdaljabar *et al.* 2025).

Dentro de los fertilizantes orgánicos, la lombricomposta o vermicomposta destaca por su alto valor nutricional y sus efectos benéficos sobre el desarrollo vegetal. Este abono es producto de la descomposición acelerada de residuos orgánicos mediante la acción de lombrices, principalmente *Eisenia fetida* que digiere los residuos agrícolas (como paja de arroz, cáscaras de café y tallos de algodón) o residuos animales como los estiércoles (porcino, bovino, equino, avícola, etc.), generando un material rico en porosidad, aireación, buena retención de agua y nutrientes (Garg and Gupta 2009). La lombricomposta es el resultado de procesos simbióticos entre microorganismos y lombrices de tierra, no solo favorece la fertilidad del suelo, sino que también puede complementar o sustituir en parte a los fertilizantes minerales en sistemas agrícolas y hortícolas (Oyege and Balaji Bhaskar 2023). Además, la vermicomposta contiene sustancias promotoras del crecimiento como ácidos húmicos (17–36%) y fúlvicos, y mejora la actividad microbiana benéfica del suelo, ayudando a proteger las plantas contra patógenos e insectos (Arancon *et al.* 2008; Olle 2019b). También incrementa la solubilidad de minerales como el fósforo y el potasio, mejora la capacidad de intercambio iónico del suelo y previene la lixiviación de nutrientes esenciales (Celikcan *et al.* 2021).

Ante la creciente demanda alimentaria y la necesidad de elevar la productividad por unidad de superficie, se ha intensificado el interés por estrategias sostenibles que mejoren el rendimiento de los cultivos sin comprometer el medio ambiente. En este contexto, los fertilizantes orgánicos como la lombricomposta se consolidan como una alternativa viable y respetuosa con el entorno, al mejorar la calidad del suelo y fomentar la biodiversidad microbiana (Lirikum *et al.* 2022; Vyas *et al.* 2022). Su aplicación en el cultivo de plantas ornamentales y especies en maceta ha mostrado efectos positivos en el desarrollo y calidad de las plantas. Productos orgánicos como el estiércol han sido utilizados como fuente de nutrientes, presentando composiciones variables dependiendo del origen animal o vegetal (Araújo *et al.* 2007).

Diversos estudios han demostrado el efecto positivo de la lombricomposta en cultivos ornamentales. Por ejemplo, en *Lilium asiatic var. Navona*, la aplicación de lombricomposta (hasta un 30%) aumentó significativamente el contenido de potasio, calcio, zinc y hierro en raíces y tallos, mejorando parámetros de crecimiento como número y peso seco de hojas, diámetro del tallo, longitud y número de raíces, y contenido de ácido giberélico (Ali Reza Ladan Moghadam 2012). En *Tagetes erecta*, la lombricomposta aplicada a razón de 5 t ha⁻¹ superó significativamente a otros fertilizantes orgánicos como el estiércol bovino (24 t ha⁻¹), estiércol aviar (3.16 t ha⁻¹) y compost NADEP (14.6 t ha⁻¹), favoreciendo altura de planta (65.17 cm), número de ramas (17.10), duración de floración (24.51 días) y rendimiento de flores (263.54 g/planta) (Singh *et al.* 2015). Asimismo, la combinación de lombricomposta con estiércol de pollo aplicada en *Althea rosa* aumentó la altura de planta (213.30 cm), número de hojas (64.33) y peso fresco y seco de las hojas (149.56 g y 45.24 g, respectivamente) en la fecha de siembra del 15 de octubre (Abo-Baker *et al.* 2023).

Más allá del aporte nutricional, la lombricomposta contribuye a mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico y la retención de humedad, aspectos clave para una agricultura sostenible (Ozyazici and Turan 2021; Oyege and Balaji Bhaskar 2023). Su integración con fertilizantes químicos ha sido recomendada como estrategia para corregir deficiencias y mitigar el deterioro del suelo por prácticas intensivas beneficios no solo en cultivos ornamentales, sino también en cereales y hortalizas fundamentales para la seguridad alimentaria global (Haque and Biswas 2021).

Proceso y factores que influyen en la calidad de la lombricomposta

El lombricompostaje es un proceso biotecnológico de oxidación controlada y estabilización de residuos orgánicos, mediado por la acción conjunta de microorganismos mesófilos y lombrices de tierra, que transforma dichos residuos en un compost de alta calidad (Jeyabal and Kuppuswamy 2001; Adhikary 2012). Este proceso ocurre generalmente a temperaturas entre 30 °C, bajo condiciones

de alta humedad (70–90%) y una adecuada aireación, lo cual favorece la actividad de los organismos involucrados (Tognetti *et al.* 2005). La materia prima utilizada puede incluir estiércol animal, residuos agroindustriales, restos de cultivos, residuos de cocina, entre otros materiales orgánicos, siempre que sean inocuos para las lombrices (Kováčik *et al.* 2015; Bianco *et al.* 2022). El proceso consta de dos fases bien diferenciadas:

- Fase activa: donde las lombrices fragmentan, ingieren y digieren la biomasa, provocando cambios significativos en la estructura física, composición microbiana y propiedades químicas del material a través de procesos gastrointestinales conocidos como GAPs (Gut Associated Processes).
- Fase de maduración o de estabilización, también llamada CAPs (Cast Associated Processes), durante la cual las lombrices migran hacia capas superiores con residuos frescos y el proceso es completado principalmente por la microbiota (Nasiru *et al.* 2013; Swati and Hait 2018).

El éxito del vermicompostaje depende en gran medida de un adecuado pretratamiento de las materias primas, en especial cuando se utilizan residuos con alta humedad o compuestos volátiles potencialmente tóxicos para las lombrices (Clive A. Edwards *et al.* 2010). Este pretratamiento puede incluir el secado, la aireación y un precompostaje termófilo breve (de 7 a 14 días), lo cual reduce la fitotoxicidad, inicia la descomposición microbiana y hace el sustrato más aceptable para las lombrices (Nasiru *et al.* 2013). Durante el proceso, las lombrices —además de actuar como mezcladores mecánicos— reducen la relación carbono:nitrógeno (C:N), incrementan el área superficial disponible para la colonización microbiana y promueven la mineralización de nutrientes. Se ha reportado que la tasa de mineralización del nitrógeno puede alcanzar hasta un 60%, favoreciendo la conversión de amonio a nitrato, incrementando el contenido de nitrógeno en comparación con procesos de compostaje sin lombrices (Tognetti *et al.* 2005; Pathma and Sakthivel 2012). Las lombrices también secretan moco rico en nitrógeno y excretan enzimas digestivas como amilasa, celulasa, lipasa y quitinasa, además de compuestos bioactivos como hormonas vegetales

(giberelinas, auxinas, citoquininas) y sustancias antimicrobianas (Oyege and Balaji Bhaskar 2023). Estas propiedades mejoran no solo la disponibilidad de nutrientes sino también la sanidad del sustrato, haciéndolo menos susceptible a patógenos. Por otro lado, el proceso genera humus estable, incrementa el contenido de fósforo y potasio disponibles —en parte por la acción de bacterias solubilizadoras de fosfato y enzimas fosfatasa—, y mejora la estructura física, porosidad y capacidad de retención de agua del producto final (Tejada and González 2009). En comparación con el compostaje tradicional, el vermicompostaje ofrece ventajas significativas: mayor eficiencia en la reducción de materia orgánica, menores emisiones de dióxido de carbono, y una disminución en parámetros como la conductividad eléctrica, el pH y la fitotoxicidad del producto (Tognetti *et al.* 2005). Asimismo, el contenido de cenizas es mayor, lo cual refleja una mayor mineralización y concentración de elementos esenciales. Estudios han demostrado que el vermicompostaje del estiércol de rumiantes, en particular, produce con altos niveles de fósforo total, y una elevada actividad microbiana y enzimática (Nasiru *et al.* 2013).

La lombriz: ciclo de vida y mecanismo del principal actor de la lombricomposta

Para optimizar su uso en la gestión de residuos orgánicos, es clave comprender su biología, ciclo de vida y dinámica reproductiva. Las lombrices, pertenecientes a la familia *Lumbricidae*, son hermafroditas y a partir de 30 días de edad, pueden comenzar a producir 2-6 capullos por semana (Podolak *et al.* 2020). La especie *Eisenia fetida*, una lombriz epigea muy utilizada en el proceso de lombricompostaje, destaca por su capacidad para convertir residuos orgánicos en humus de alta calidad. Posee un alto ritmo reproductivo y crecimiento acelerado (Swati and Hait 2018). En condiciones adecuadas, su población puede multiplicarse 300 veces en tan solo uno o dos meses. La cría de estas lombrices puede realizarse en mezclas de estiércol y hojas descompuestas, en estructuras con buen drenaje y cobertura vegetal para conservar la humedad. Cada lombriz adulta consume diariamente residuos equivalentes a su peso corporal (0.5–0.6

g), y excreta la mitad de lo ingerido. Sus excrementos contienen entre 32% y 66% de humedad, gracias a este proceso, logran reducir el volumen original de residuos entre un 40% y un 60% (Adhikary 2012; Swati and Hait 2018; Podolak *et al.* 2020).

La anatomía interna de *Eisenia fetida* está adaptada para facilitar la digestión de residuos orgánicos y su transformación en humus. El cuerpo de la lombriz es segmentado y contiene estructuras clave como la boca, esófago, buche, molleja, intestino, clitelo y ano, las cuales trabajan de manera coordinada durante el proceso digestivo. Comprender la morfología y función de estos órganos permite valorar el impacto de *E. fetida* en procesos como el lombricompostaje y la eliminación de patógenos en residuos orgánicos.

Boca: situada en el primer segmento corporal, ubicada en el extremo anterior. Es una abertura pequeña por donde la lombriz ingiere materia orgánica.

Esófago: se extiende aproximadamente del segmento 3 al 7. Es un tubo estrecho que conecta la boca con el buche y por donde pasa el alimento.

Buche: se localiza entre los segmentos 8 y 9. Es una cámara de almacenamiento temporal donde el alimento se mantiene antes de pasar a la molleja.

Molleja: se encuentra en los segmentos 10 y 11. Es una estructura muscular que tritura el alimento con la ayuda de partículas minerales ingeridas.

Clitelo: un anillo glandular notable, de textura más gruesa y color más claro, que se extiende del segmento 32 al 37. Participa en la reproducción y es un punto de referencia clave en la identificación morfológica.

Intestinos: comienzan después de la molleja (aproximadamente desde el segmento 11) y se extienden hasta casi el final del cuerpo. Aquí ocurre la digestión y absorción de nutrientes.

Ano: se encuentra en el último segmento corporal, por donde se eliminan los residuos no digeridos.

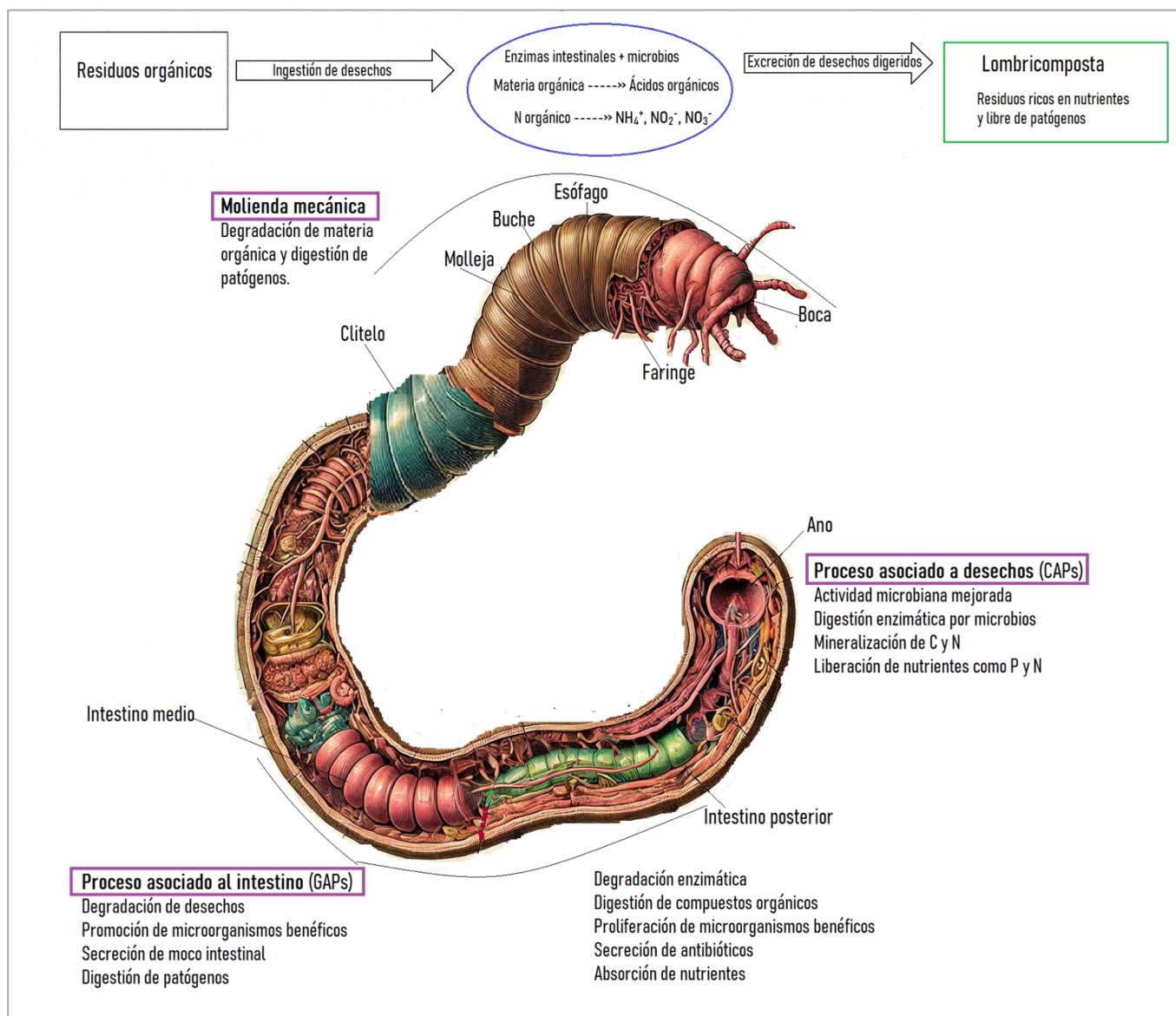


Figura 5. Mecanismo de acción de los órganos internos de *Eisenia fetida* (elaboración propia).

El vermicompost representa una herramienta valiosa en la agricultura sostenible, ya que mejora el crecimiento de los cultivos, enriquece la calidad de frutos y semillas, y contribuye al control natural de plagas sin generar contaminación ambiental. Sin embargo, aún es necesario estandarizar su elaboración, almacenamiento y aplicación para asegurar su eficacia. Su integración con otros fertilizantes orgánicos y el análisis de su composición microbiológica podrían fortalecer su uso como alternativa ecológica en los sistemas agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), dentro del área agroecológica del Departamento de Botánica (25°23'42" N Lat., 100°59'57" O Long., 1743 m sobre el nivel del mar). La temperatura durante el estudio fue de 23.2 °C (máxima media), 12.4 °C (mínima media) y 18.1 °C (promedio estacional), mientras que la humedad relativa fue del 95% (máxima media), 47% (mínima media) y 72% (promedio estacional).

Etapas I: Producción de las lombricompostas y lixiviado

Tanto el estiércol porcino como bovino fueron obtenidos de granjas y establos pertenecientes a la UAAAN. El lombricompostaje se realizó en condiciones de cielo abierto, en camas de 2 x 1 m con una cubierta aislante de plástico negro, colocadas a nivel de suelo con una pendiente del 1 %. Se establecieron cinco camas y a cada una se le incorporaron 100 kg de estiércol fresco con cinco diferentes porcentajes: 100P0B, 75P25B, 50P50B, 25P75B y 0P100B. Cada mezcla se sometió a pre-compostaje por 21 días, posterior a este periodo, cada cama se inoculó con 1 kg de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Al finalizar el ciclo de lombricompostaje (90 días) el lixiviado de cada mezcla fue recolectado en bidones de 20 L colocados al final de cada cama cubiertos con una malla para evitar el ingreso de insectos y/o basura. Se usó un sensor de humedad y temperatura, la temperatura mínima, promedio y máxima durante el periodo de evaluación fue de 12°C, 31°C y 50°C, respectivamente, asimismo se manejó una humedad del 75% (marca FLUKE modelo 971). Transcurridos los 90 días se procedió a la caracterización físico-química y contenido mineral de los sustratos sólidos y los lixiviados.

Etapla II: Establecimiento del cultivo de gerbera y aplicación de tratamientos

Se utilizaron plántulas de gerbera de la variedad MARJORETTE MIX SL CDT (Floraplant), transplantadas en contenedores de 4 L utilizando como sustrato base una mezcla de peat moss y perlita (1:1%, v/v). El cultivo se manejó durante un ciclo de 90 días en condiciones protegidas bajo una casa sombra con un 30% de cobertura. Para la nutrición del cultivo, se aplicó una solución Steiner al 50% (Steiner 1961) en todos los tratamientos evaluados, suministrada mediante un sistema de riego por goteo con un volumen diario de 500 ml a lo largo del ciclo productivo. La primera aplicación de lixiviado de la lombricomposta (100P0B), seleccionada por su caracterización mineral, se realizó 15 días posteriores al trasplante y tres veces adicionales en intervalos de 15 días. Se aplicaron 250 ml de lixiviado vía drench. Los tratamientos consistieron en evaluar tres proporciones diferentes (0%, 15% y 30%) de las cinco lombricompostas (100P0B, 75P25B, 50P50B, 25P75B y 0P100B) así como la no-aplicación y aplicación de lixiviado de lombriz lo que resultó en un total de 30 tratamientos con cinco repeticiones y cuatro plantas por repetición.

Variables evaluadas en las plantas

Se tomaron cuatro plantas por repetición y se determinó el número de hojas y número de flores mediante el conteo de hojas verdaderas y flores cosechadas (flores abiertas completamente y perpendiculares al pedúnculo) por planta. La altura de planta, longitud de raíz y longitud de pedúnculo se midió en cm utilizando un flexómetro (marca TRUPER modelo FIN-M5). El diámetro de pedúnculo y diámetro de la flor se registró en mm utilizando un vernier digital (marca STAINLESS modelo D4776). El peso fresco de hoja y raíz se determinó con una balanza digital (marca Rhino modelo BAPRE-3). Para obtener el peso seco de cada órgano vegetal, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa (marca FELISA modelo FE-145) a una temperatura de 70 °C por 48 H. El peso fresco y seco total se obtuvo de la suma del peso de hoja y raíz. Las flores cosechadas se sometieron a evaluación de la vida útil en florero.

Se colocó un soporte de plástico en los pedúnculos y se realizó un corte a 45° para permitir la mejor absorción de agua, inmediatamente y de manera individual se colocaron las flores en un recipiente con 300 ml de agua fresca (grifo). Las flores se evaluaron diariamente para determinar la vida de poscosecha, esta se consideró terminada cuando las flores perdieron su apariencia ornamental (marchitez, pérdida de turgencia o curvatura del cuello de la flor). El índice SPAD se midió en hojas jóvenes completamente desarrolladas y sanas a los 90 días después del trasplante (inicio de floración) con la ayuda de un medidor de clorofila (marca KONICA modelo MINOLTA 502) realizando la medición entre las 11:00 y 12:00 h del día con presencia de luz solar al máximo.

Análisis mineral de lombricomposta y lixiviado

Para la determinación de la concentración de nutrientes en la lombricomposta y lixiviado se emplearon las siguientes técnicas: para la materia orgánica se empleó la técnica establecida Walkley & Black (1934); el nitrógeno (N) se determinó siguiendo el procedimiento de Kjeldahl (Bremner 1996); el fósforo (P) se determinó por fotolorimetría por reducción con molibdovanadato; el potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y boro (B) se determinaron en digeridos de mezcla 2:1 de $H_2SO_4:HClO_4$ y 2 ml de H_2O_2 al 30%, utilizando un espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) (modelo Liberty, VARIAN, Santa Clara, CA) (Soltanpour *et al.* 2018).

Análisis estadístico

Para la etapa I de producción de las lombricompostas y lixiviado se usó un diseño experimental de bloques al azar considerando cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANVA) y cuando se detectaron diferencias significancia se aplicó la prueba de comparación de medias múltiples utilizando el procedimiento de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el software SAS v9.0.

Respecto a la etapa II de establecimiento del cultivo de gerbera y aplicación de tratamientos, se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 5x3x2 con cinco repeticiones por tratamiento y cuatro plantas por repetición. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) y cuando se detectó significancia se realizó una prueba de comparación de medias múltiples utilizando el procedimiento de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el software SAS v9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa 1. Características los tipos de lombricompostas y lixiviados de lombricomposta.

El lombricompostaje es un proceso mesófilo mediante el cual la materia orgánica se estabiliza gracias a la interacción combinada de lombrices de tierra y microorganismos (Edwards and Arancon 2022). Esta cooperación acelera la descomposición, promoviendo una rápida estabilización de la materia orgánica y provocando cambios significativos en sus propiedades físicas y bioquímicas (Peng *et al.* 2024). Entre los elementos esenciales aportados por la lombricomposta se encuentran el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y boro (B), todos fundamentales para el crecimiento saludable de las plantas (Marschner 2011). En este estudio se obtuvieron lombricompostas ricas en nutrientes, sin embargo, nuestros resultados muestran evidencia que la composición química de ésta dependerá principalmente del tipo de estiércol y proporción adicionada de cada uno en el lombricompostaje (Tabla 2 y Tabla 3). La incorporación de estiércol con alto contenido de materia orgánica y concentraciones variables de N, P y K durante el proceso de lombricompostaje garantiza la presencia de estos nutrientes en la solución lixiviada, lo cual refuerza su potencial uso y aplicación como insumo agrícola de alto valor (Tejada *et al.* 2008; Ávila-Juárez *et al.* 2015). Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de las distintas lombricompostas elaboradas con estiércol porcino y bovino indican diferencias significativas en cuanto a calidad agronómica, dependiendo de la proporción utilizada. La mayor materia orgánica (MO) se observó en la lombricomposta 25P75B (40.3%) seguido de 50P50B (39.8%), valores que superan los reportados en otros estudios (10%-30%), estos valores indican madurez, así como de alta calidad de la lombricomposta (Kalika-Singh *et al.* 2022; Pereira *et al.* 2022). Esta alta concentración de OM mejora la retención de agua, la aireación del suelo y la capacidad de albergar microorganismos benéficos, favoreciendo el crecimiento vegetal (Toor *et al.* 2024). En cuanto a la capacidad de intercambio

cati3nico (CIC), el valor m3s alto (92.2 cmol(+)/kg) se registr3 en la lombricomposta 50P50B, lo cual refleja una elevada capacidad de retenci3n de nutrientes esenciales como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+} . Una CIC superior a 50 cmol(+)/kg es considerada 3ptima para fertilizantes org3nicos, ya que garantiza una liberaci3n gradual y eficiente de nutrientes (Robe Elema 2021), nuestros resultados de CIC son superiores a los reportados en otros estudios donde la CIC m3s elevada va de 54.2 a 57.8 cmol(+)/kg, los autores establecen que la aplicaci3n de lombricomposta puede mejorar la fertilidad en suelos con baja CIC, al incrementar este par3metro clave para la retenci3n de nutrientes (Jouquet *et al.* 2011; Doan *et al.* 2015; Hazelton and Murphy 2016). La densidad aparente (DA) m3s baja (0.42 g/cm³) se present3 en la lombricomposta 100P0B, en contraste, la lombricomposta 25P75B tuvo la DA m3s alta (0.52 g/cm³), manteni3ndose a3n dentro del rango reportado (<0.8 g/cm³); nuestros resultados se alinean con los resultados reportados en otras investigaciones donde, la DA oscila entre 0.56 y 0.84 g/cm³, estableciendo que una DA indica una textura suelta y alta porosidad, favoreciendo la oxigenaci3n y el desarrollo radicular, sin embargo, una densidad excesivamente baja puede limitar la capacidad de sost3n del suelo sin comprometer las propiedades f3sicas del sustrato (Teresa Salazar-Ram3rez 2018; Blouin *et al.* 2019; Kaur *et al.* 2024). Respecto a la relaci3n carbono/nitr3geno (C/N), la lombricomposta 75P25B present3 el valor m3s bajo (14.3), considerado ideal para productos compostados estabilizados y maduros, en contraste, la lombricomposta 100P0B mostr3 una C/N de 28.8. Nuestros resultados son ideales de acuerdo a lo establecido por otras investigaciones que han determinado que, la forma m3s r3pida de producir lombricomposta f3rtil es al mantener una C/N cercana a 25–30:1 (Shrimal and Khwairakpam 2010; Kaur *et al.* 2024; Toor *et al.* 2024), ya que de este modo se favorece la mineralizaci3n eficiente del nitr3geno, evitando su inmovilizaci3n en el suelo y mejorando la disponibilidad para las plantas, caso contrario a una C/N alta lo cual sugiere una menor estabilizaci3n de la materia org3nica (Kovshov and Iconnicov 2017b). En cuanto al contenido mineral, en macroelementos, destac3 el nitr3geno (2.0%) en la lombricomposta 75P25B y de potasio (1.2%) en las lombricompostas 0P100B

y 25P75B, indicando que la combinación de estiércoles puede enriquecer la composición nutricional. Además, todos los tratamientos presentaron concentraciones relevantes de calcio y magnesio ($>3.0\%$ y $>0.8\%$, respectivamente), fundamentales para la estructura celular y procesos fisiológicos en plantas (Cakmak *et al.* 2023; Ernest A. Kirkby *et al.* 2023; Hawkesford *et al.* 2023). Todos los microelementos incrementaron con el tipo de lombricomposta 100P0B, con excepción del B, que incrementó con el tipo de lombricomposta 50P50B (Tabla 2).

Tabla 2. Composición mineral de las lombricompostas de estiércol bovino y porcino, así como sus combinaciones.

Tipo de VC	MO%	CIC cmol (+) kg ⁻¹	DA g cm ⁻³	C/N	N%	P%	K%	Na%	Ca%	Mg%
100P0B	33.9 e	63.1 e	0.42 e	28.8 a	1.1 c	1.8 a	0.8 c	0.34 c	5.2 a	1.0 a
75P25B	37.7 d	73.1 d	0.48 c	14.3 e	2.0 a	1.5 a	0.9 bc	0.38 c	4.5 b	0.97 b
50P50B	39.8 b	92.2 a	0.47 d	26.7 b	1.1 c	1.7 a	1.1 ab	0.45 b	4.2 c	0.98 b
25P75B	40.3 a	80 c	0.52 a	19.2 d	1.5 b	1.3 b	1.2 a	0.51 a	3.1 d	0.84 c
0P100B	38.7 c	82.2 b	0.51 b	20 c	1.5 b	0.87 c	1.2 a	0.52 a	3.1 d	1.02 a
ANOVA	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	0.0012	<.001	<.001	<.001

Tipo de VC	Fe mg Kg ⁻¹	Cu mg Kg ⁻¹	Zn mg Kg ⁻¹	Mn mg Kg ⁻¹	B mg Kg ⁻¹
100P0B	4100 a	163.3 a	295.5 a	475.8 a	89.9 b
75P25B	3200 b	119.3 b	239.8 c	417.3 b	85.1 c
50P50B	3500 b	114 c	243 .3 b	399.8 c	150.0 a
25P75B	2600 c	94.3 d	184.3 d	325.5 d	78.6 d
0P100B	3400 b	53.8 e	157 e	296 .5e	148.4 a
ANOVA	<.001	<.001	<.001	<.001	0.0403

VC=lombricomposta. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).

Al igual que los resultados obtenidos en el contenido de nutrientes en la lombricomposta, las características químicas del lixiviado de lombricomposta dependieron del tipo de sustrato y el porcentaje mezclado de éstos. A pesar de

que la lombricomposta ha sido ampliamente estudiada por sus beneficios agrícolas, el lixiviado generado durante su producción ha recibido escasa atención científica, especialmente en lo que respecta a su capacidad para estimular el crecimiento vegetal y mejorar el rendimiento de los cultivos. Este lixiviado se forma durante el proceso de vermicompostaje como resultado de la actividad microbiana, la cual libera agua al descomponer la materia orgánica. Para evitar la sobresaturación del sistema y minimizar la aparición de plagas, dicho líquido es extraído mediante drenaje (Quaik *et al.* 2012). Nuestros resultados revelaron una mayor disponibilidad de N y P en la lombricomposta 75P25B, mientras que el Ca, Mg y Mn incrementaron en la lombricomposta 100P0B (Tabla 3), el mayor contenido de B se obtuvo en la lombricomposta 0P100B, mientras que, para K, Na, Fe, Cu y Zn la lombricomposta con mejores resultados fue 25P75B (Tabla 3). Comparando estos valores con estudios previos, se observa que las concentraciones de nutrientes en los lixiviados pueden variar significativamente según los materiales utilizados y las condiciones del proceso. Por ejemplo, un estudio reportó concentraciones de nitrógeno (N) de 0.357 g/kg, fósforo (P) de 0.28 g/kg y potasio (K) de 0.75 g/kg en lixiviados derivados de lombricomposta, valores que son inferiores comparados con los nuestros (Čabilovski *et al.* 2023a). Esto indica que la selección y proporción de los residuos orgánicos utilizados pueden optimizar el perfil nutricional del lixiviado. Algunos estudios demostraron que al suprimir minerales esenciales como NPK y realizando la aplicación de lixiviado de lombricomposta compensó estas carencias, favoreciendo el crecimiento, pigmentación y producción de compuestos bioactivos (Quaik *et al.* 2012; Masondo *et al.* 2016; Torres-García *et al.* 2024). Esto ocurre porque el lixiviado contiene nutrientes biodisponibles y compuestos bioestimulantes que activan respuestas fisiológicas en las plantas (Masondo *et al.* 2016).

A pesar de no presentar los valores más altos en todos los parámetros, el lixiviado 100P0B destacó por su aceptable contenido de nitrógeno (0.26%), esencial para el crecimiento inicial de las plantas, además, posee una buena concentración de potasio (1445 ppm) y bajo nivel de sodio (700 ppm), lo que reduce el riesgo de

estrés salino. Su perfil nutricional balanceado lo hace adecuado para etapas tempranas del desarrollo vegetal, promoviendo un crecimiento vigoroso sin comprometer la absorción de micronutrientes esenciales, por ello se seleccionó para su aplicación al cultivo de *Gerbera jamesonii*. Al mismo tiempo, cabe destacar que el estiércol porcino ha sido históricamente menos explorado como insumo agrícola, posiblemente por consideraciones relacionadas con su manejo y sus potenciales impactos ambientales. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio resaltan su valor agronómico y confirman su potencial como fuente sostenible de nutrientes para la producción vegetal.

Tabla 3. Composición mineral de los lixiviados de lombricompostas de estiércol bovino y porcino, así como sus combinaciones.

Tipo de lixiviado	N %	P mg Kg ⁻¹	K mg Kg ⁻¹	Na mg Kg ⁻¹	Ca mg Kg ⁻¹	Mg mg Kg ⁻¹
100P0B	0.26 b	847.5 d	1445 e	700 e	466.4 a	283.2 a
75P25B	0.37 a	1496.3 a	1820 d	835 d	331 c	187.6 c
50P50B	0.23 c	1171.9 c	2165 c	965 c	379.2 b	208.4 b
25P75B	0.16 d	847.5 d	5900 a	1335 a	288.4 d	168.8 d
0P100B	0.37 a	1264.6 b	2615 b	1175 b	272.8 e	163.5 e
ANOVA	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Tipo de lixiviado	Fe mg Kg ⁻¹	Cu mg Kg ⁻¹	Zn mg Kg ⁻¹	Mn mg Kg ⁻¹	B mg Kg ⁻¹
100P0B	4.3 c	0.45 d	7.1 c	12.5 ab	11.5 e
75P25B	5.0 b	1.7 c	6.1 d	10.2 d	19.7 c
50P50B	5.0 b	2.1 b	7.4 b	12.3 e	17.9 d
25P75B	6.1 a	3.2 a	8.7 a	11 c	20.7 b
0P100B	3.9 d	2.1 b	4.3 e	12.7 a	27.9 a
ANOVA	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).

Etapla 2: Efectos de la lombricomposta y lixiviado de lombricomposta en la gerbera

Se ha reportado que abonos orgánicos como la lombricomposta y lixiviado de lombricomposta permiten mejorar el desarrollo/crecimiento de las plantas (Masondo *et al.* 2016; Čabilovski *et al.* 2023a). Sin embargo, el efecto positivo de estos abonos sobre el cultivo dependerá del tipo y proporción de sustrato utilizado para su obtención y del porcentaje agregado en el medio de crecimiento.

En este estudio se observó que parámetros como unidades SPAD, altura de la planta, peso fresco de hojas y raíz, peso fresco total, peso seco de raíz y hojas y el peso seco total fueron significativamente influenciadas por el tipo de lombricomposta y proporción agregada de lombricomposta al medio de crecimiento. Asimismo, con excepción de altura de la planta, tanto la no-aplicación como la aplicación de lixiviado afectaron significativamente todos los parámetros evaluados. (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto del tipo de lombricompostas, proporción agregada de lombricomposta al sustrato base de crecimiento y la no-aplicación y aplicación de lixiviado de lombricomposta sobre los caracteres de crecimiento y desarrollo de las plantas de gerbera.

	Unidades						Hojas	Raíz	Total
	SPAD	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Hojas PF (g)	Raíz PF (g)	Total PF (g)	PS (g)	PS (g)	PS (g)
Tipo de lombricomposta									
100P0B	42.7 a	15.9 a	30.9 b	87.3 ab	58.5 b	145.8 ab	14.8 ab	9.4 b	24.2 bc
75P25B	42.8 a	15.8 a	34.2 a	86.8 ab	66.5 a	153.3 a	13.5 c	11.4 a	24.9 b
50P50B	38.0 c	14.5 b	32.2 b	90.4 a	56.5 b	146.9 a	15.2 a	12.5 a	27.8 a
25P75B	40.0 b	14.1 b	28.4 c	78.9 ab	54.9 b	133.8 bc	14.2 b	9.0 b	23.3 c
0P100B	41.9 ab	14.5 b	29.1 c	78.0 b	49.2 c	127.2 c	12.9 c	8.5 b	21.5 d
ANOVA	<0.001	<0.001	<0.001	0.0100	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Proporción									
0%	37.0 b	8.3 c	31.8 b	69.9 c	46.2 c	116.1 c	12.2 c	10.1 ab	22.4 c
15%	49.4 a	20.4 a	33.3 a	98.5 a	65.9 a	164.4 a	16.4 a	10.8 a	27.2 a
30%	36.7 b	16.3 b	27.8 c	84.4 b	59.3 b	143.7 b	13.8 b	9.6 b	23.4 b
ANOVA	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0083	<0.001
Lixiviado									
No-aplicación	44.2 a	14.9 a	29.6 b	75.8 b	54.5 b	130.3 b	11.6 b	8.5 b	20.1 b
Aplicación	37.9 b	15.0 a	32.4 a	92.7 a	59.8 a	152.5 a	16.6 a	11.8 a	20.5 a
ANOVA	<0.001	0.784	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Interacciones									
VC*Prop	<0.001	<0.001	<0.001	0.0007	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
VC*Lix	<0.001	0.0052	<0.001	0.0222	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
Prop*Lix	<0.001	0.0009	<0.001	0.0096	<0.001	<0.001	0.0066	0.0203	0.0338
VC*Prop*Lix	<0.001	<0.001	<0.001	0.0043	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001

PF=peso fresco, PS=peso seco, VC=tipo de lombricomposta, Prop=proporción, Lix=lixiviado.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).

La fertilización reducida (al 50%) complementada con lombricomposta ha demostrado ser beneficiosa para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La interacción (Tabla 3) muestra que la aplicación de la lombricomposta 75P25B al

15% de proporción en el medio de crecimiento, particularmente sin la aplicación de lixiviado, mejoró las unidades SPAD representando un incremento del 66.1% comparado con el control correspondiente (Figura 6a). Respecto al contenido de clorofila (unidades SPAD), nuestros hallazgos se alinean con lo reportado en plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), donde a una proporción del 20% de lombricomposta incrementó este parámetro frente al control (Papathanasiou 2005). En plantas de tomate, la combinación de lombricomposta y lixiviado incrementó las unidades SPAD en un 50.6% respecto a plantas no tratadas (Aslam *et al.* 2023). De forma análoga, estudios en maíz reportaron un mayor crecimiento y contenido de clorofila en plantas tratadas con lombricomposta (Oyege and Balaji Bhaskar 2024). En girasol ornamental (*Helianthus annuus* L.), la aplicación de lixiviados orgánicos, incluyendo lixiviado de lombricomposta en relación 1:20 (v/v), resultó en mejoras significativas en la altura, área foliar e índice SPAD (Akhter Ripa *et al.* 2024). Además, se ha reportado que la incorporación de lombricomposta de origen porcino en proporción de 20% v/v mejoró el peso de brotes y raíces, así como el área foliar de plántulas de tomate y caléndula francesa (Bachman and Metzger 2008).

Los tratamientos 75P25B y 0P100B mejoraron la altura de las plantas de gerbera alcanzó una altura aproximadamente tres veces mayor comparado con el control correspondiente, principalmente cuando estas se aplicaron al 15% y con aplicación de lixiviado (Figura 6b), sin embargo, también se observó que el tipo de lombricomposta 100P0B y 75P25B en proporción del 15% sin la aplicación de lixiviado incrementó significativamente esta variable (Figura 6b). Nuestros resultados son consistentes con los reportados en otras especies. Por ejemplo, en plantas de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni), la altura de la planta, número de hojas y el área foliar se incrementaron con la aplicación de lombricomposta de estiércol bovino (250 g), combinada con fertilizantes inorgánicos (Dushyant *et al.* 2014). Otro estudio en la misma especie encontró que atributos como la altura de la planta, el área foliar y el peso fresco y seco de las plantas fueron mayores cuando se aplicaron conjuntamente lombricomposta y fertilizantes inorgánicos, en comparación con aplicaciones individuales (Bidabadi *et al.* 2016). En plantas

de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la aplicación de lixiviado junto con lombricomposta (7 ton ha⁻¹) promovió un mayor crecimiento, expresado en plantas más altas, vainas más largas, mayor número de vainas por planta y un incremento en el número de ramas laterales (Ayyobi *et al.* 2014). De igual forma, en el cultivo de maíz (*Zea maíz* L.), el uso de lixiviado de lombricomposta generó un aumento del 11.2% en el rendimiento de grano y del 10.2% en el rendimiento de rastrojo, en comparación con el tratamiento control (More *et al.* 2013). En los cultivos ornamentales, los beneficios también son evidentes, por ejemplo, en cempasúchil (*Tagetes erecta* L.) la aplicación de lombricomposta de estiércol bovino en proporciones del 20% y 35% estimuló la germinación temprana de semillas (reduciendo el tiempo en dos días) y mejoró todos los parámetros de crecimiento vegetativo de las plántulas (Shafique *et al.* 2021). En caléndula francesa (*Tagetes patula* L.) el uso de lombricomposta de estiércol porcino, en sustitución parcial de un sustrato comercial, incrementó significativamente la altura de las plantas y acumulación de materia seca con proporciones de 30% y 40% (Atiyeh *et al.* 2002). Finalmente, en gerbera se ha reportado que mezclas de turba, arena y lombricomposta mejoran significativamente la altura de las plantas, el ancho de las hojas, así como el peso de las raíces y hojas (Ali *et al.* 2024). En cuanto a la longitud de la raíz, esta se incrementó 45.2% con el tipo de lombricomposta 75P25B al 15% sin lixiviado comparado con el control correspondiente, no obstante, también se registraron mejoras con la proporción del 30% del mismo tipo de lombricomposta, pero con aplicación de lixiviado representando un 16.9% de incremento comparado con el control correspondiente (Figura 6c). Nuestros resultados son similares a los reportados en plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), donde se reportó un incremento (80%) de la longitud de las raíces en plantas tratadas con lombricomposta 25% al 50% en condiciones de estrés hídrico (Kosem *et al.* 2022). Otro estudio realizado en plantas de menta (*Mentha spicata* L.) tratadas con lixiviado de vermicomposta resultó en un aumento significativo de la longitud de las raíces, de 38 cm en plantas tratadas con fertilizante inorgánico a 74 cm en aquellas tratadas con lixiviado (Loera-Muro *et al.* 2021).

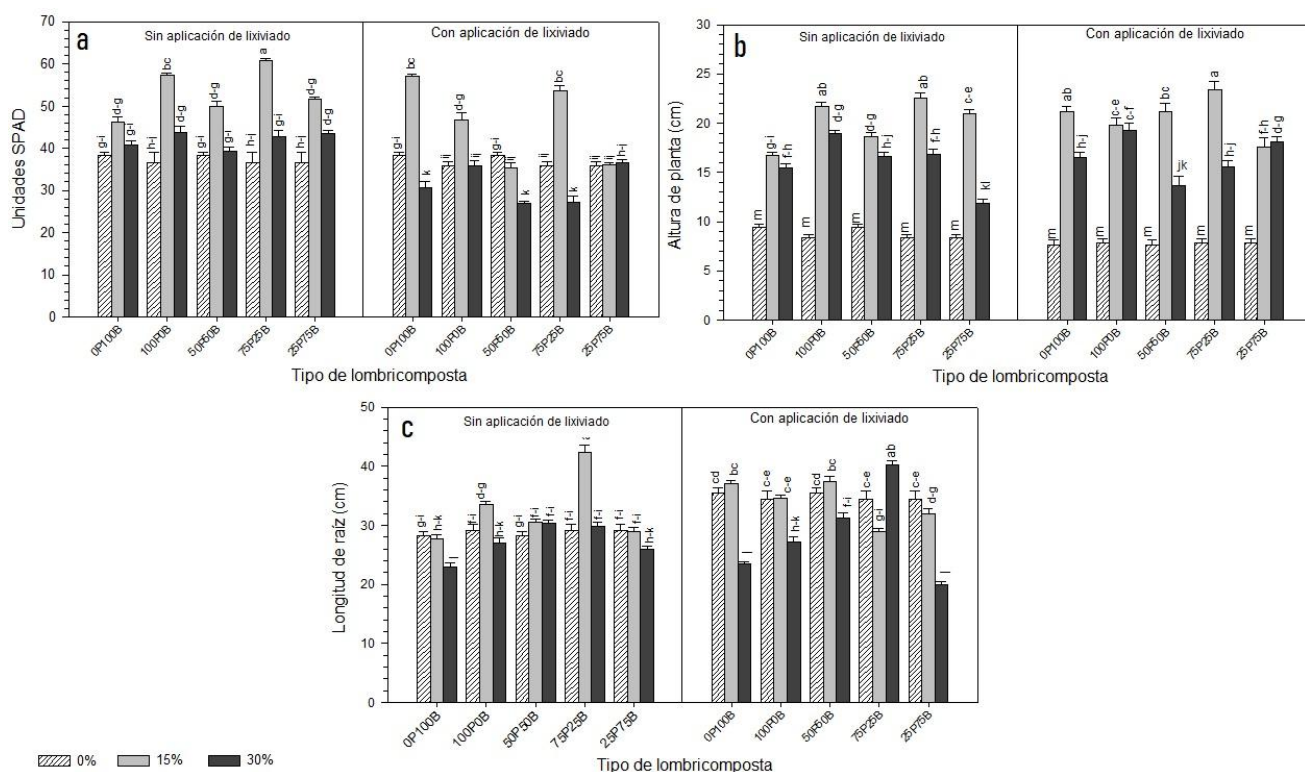


Figura 6. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre las unidades SPAD (a), la altura del tallo (b) y la longitud de la raíz (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

Asimismo, la interacción de los factores permitió observar que el peso fresco de hoja mejoró al aplicar la lombricomposta 100P0B a proporción del 15% con aplicación de lixiviado, representando un 42% de incremento en comparación con el control correspondiente (Figura 7a); no obstante, las lombricompostas 50P50B y 75P25B al 15% con aplicación de lixiviado incrementaron 27.7% y 548%, respectivamente, comparados con el control correspondiente (Figura 7a). El peso fresco de la raíz incrementó 26% en el tratamiento con el tipo de lombricomposta 75P25B al 15% de proporción con aplicación de lixiviado (Figura 7b), cabe señalar que los tipos de lombricomposta 100P y 50P50B bajo las condiciones anteriores también incrementaron este parámetro, así como los tipos de

lombricomposta 75P25B y 25P75B al 15% pero con la no-aplicación de lixiviado (Figura 7b). El peso fresco total incremento significativamente con el tipo de lombricomposta 75P25B a proporción del 15% tanto con aplicación de lixiviado y la no-aplicación de lixiviado, representando un 41.2% y 96%, respectivamente, en comparación con el control correspondiente (Figura 7c), pese a lo anterior, se puede observar que, los tipos de lombricomposta 100P0B y 50P50B a proporción del 15% con aplicación de lixiviado también incrementan el peso fresco total (Figura 7c). Nuestros resultados determinan que la lombricomposta contribuye a la estabilización de la materia orgánica, lo que favorece una mayor retención de agua y una mejor disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas (Blouin *et al.* 2019). Nuestros resultados son similares a los reportados en cebolla (*Allium cepa* L.) donde al aplicarse lixiviado de lombricomposta se incrementó la acumulación de peso fresco de la planta en un 79% comparado con plantas control (El-Shaieny *et al.* 2022). En plantas de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) a 10% de lombricomposta se incrementó el peso fresco de la planta control de 8.7 g a 33g en plantas tratadas con lombricomposta, representando un incremento de 2.8 veces más (Xu and Mou 2016). Otro estudio realizado en zanahoria (*Daucus carota* L.) reportó que la aplicación de lombricomposta al 10% en suelo incrementó el peso fresco de la raíz y de las hojas en un 137% y 120%, respectivamente, comparado con el tratamiento control (Kováčik *et al.* 2022). En plantas de Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) en condiciones de vivero se adicionaron 10g de lombricomposta al sustrato a base de tierra negra y arena, los resultados reportaron un incremento del 52.9% en el peso fresco de la planta (de 2.19g a 3.35g) (Baliah and Muthulakshmi 2017). En caléndula francesa se reportó que la aplicación de lombricomposta al 20% incrementó la biomasa fresca de brotes y raíces 14.7 veces más en comparación con plantas control (Gupta *et al.* 2014a). La aplicación de lombricomposta, lixiviado de lombricomposta o su combinación incrementa la biomasa fresca y el crecimiento de las plantas debido a su alto contenido de nutrientes disponibles, la presencia de compuestos bioactivos como hormonas vegetales naturales, y su capacidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Kováčik *et al.* 2022). Estos

insumos orgánicos favorecen una mejor absorción de agua y nutrientes, estimulan la actividad microbiana benéfica y promueven un desarrollo radicular más eficiente, lo que se traduce en un crecimiento más vigoroso y una mayor acumulación de biomasa (Gómez-Brandón *et al.* 2015).

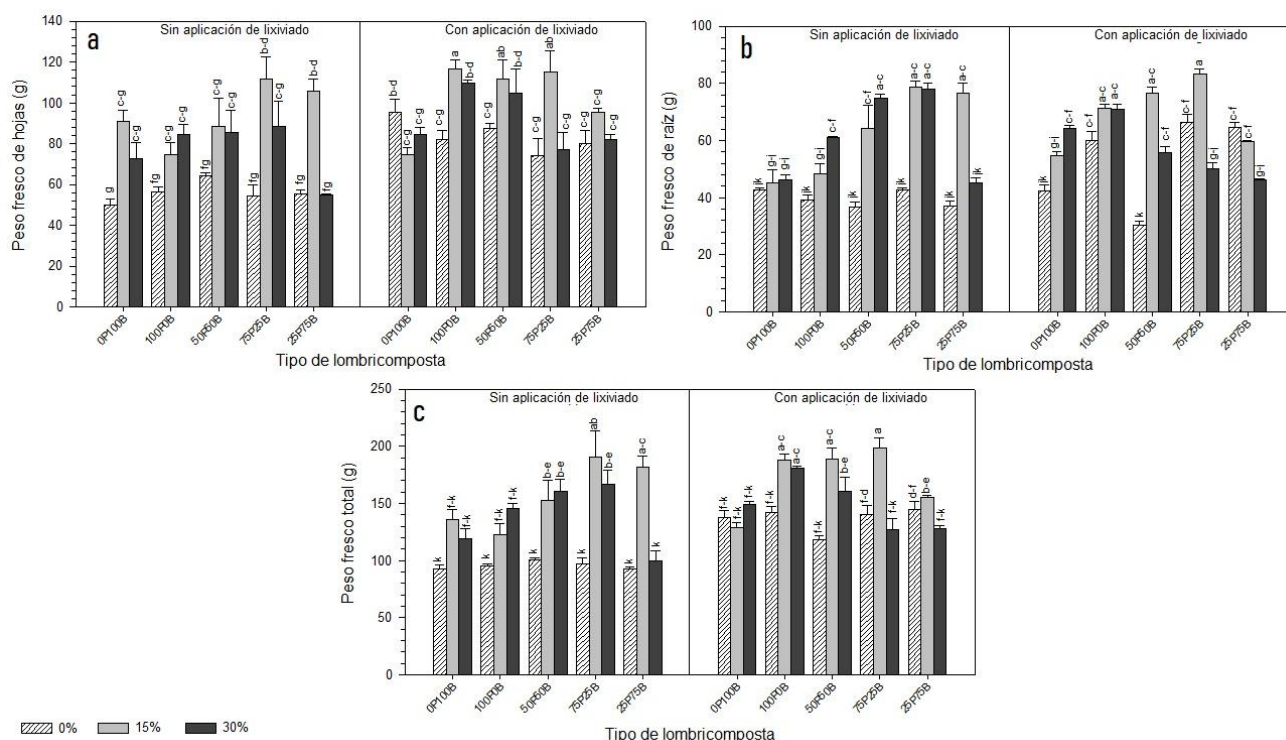


Figura 7. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre el peso fresco de hojas (a), el peso fresco de raíces (b) y el peso fresco total (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

La acumulación de biomasa seca en los órganos vegetales es un indicador clave del crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que refleja su capacidad para captar y asimilar eficientemente de los nutrientes disponibles (Theunissen *et al.* 2010). En este estudio, se observó que el peso seco de las hojas mostró un aumento significativo del 82.1% comparado con el control correspondiente cuando se utilizó el tipo de lombricomposta 100P0B a proporción del 15%

siempre y cuando se aplicara lixiviado (Figura 8a). El tipo de lombricomposta 50P50B, combinada con la aplicación del lixiviado de lombricomposta en una proporción del 15%, incrementó significativamente la biomasa seca de las raíces representando un 59.2% de incremento en comparación con el control correspondiente (Figura 8b). Por su parte, de manera similar, el peso seco total se mostró favorecido con los tipos de lombricomposta 100P0B y 50P50B bajo la misma proporción del 15% con aplicación de lixiviado, registrando incrementos del 42.8% y 39.6%, respectivamente, comparados con el control correspondiente (Figura 8c).

Nuestros resultados concuerdan con estudios previos en diferentes especies, por ejemplo, en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en invernadero, la aplicación de lixiviado de lombricomposta en relación 1:10 (v/v) incrementó significativamente el peso fresco y seco de brotes y raíces respecto al tratamiento control (Chinsamy *et al.* 2014). En plantas de albahaca sometidas a estrés hídrico el uso de lombricomposta en concentraciones del 10% y el 20% mejoró de forma significativa el peso seco de raíces y hojas (Celikcan *et al.* 2021). De manera similar, en plantas de pak choi (*Brassica rapa* L.) el lixiviado de lombricomposta favoreció la acumulación de biomasa seca (Pant *et al.* 2011). La efectividad de la lombricomposta y su lixiviado radica en su capacidad para aportar nutrientes esenciales en formas fácilmente asimilables para las plantas. Además, contienen fitohormonas como las auxinas, que promueven la división y elongación celular, potenciando así el desarrollo de diversas especies agrícolas (Liu *et al.* 2011; Vamvuka and Raftogianni 2021).

Durante el lombricompostaje, los residuos orgánicos son transformados en compuestos solubles y biodisponibles, como nitratos y fosfatos, los cuales promueven un desarrollo radicular vigoroso y una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. Adicionalmente, la intensa actividad microbiana genera sustancias bioactivas que enriquecen el suelo y favorecen el crecimiento vegetal (Bidabadi *et al.* 2016; Čabilovski *et al.* 2023b).

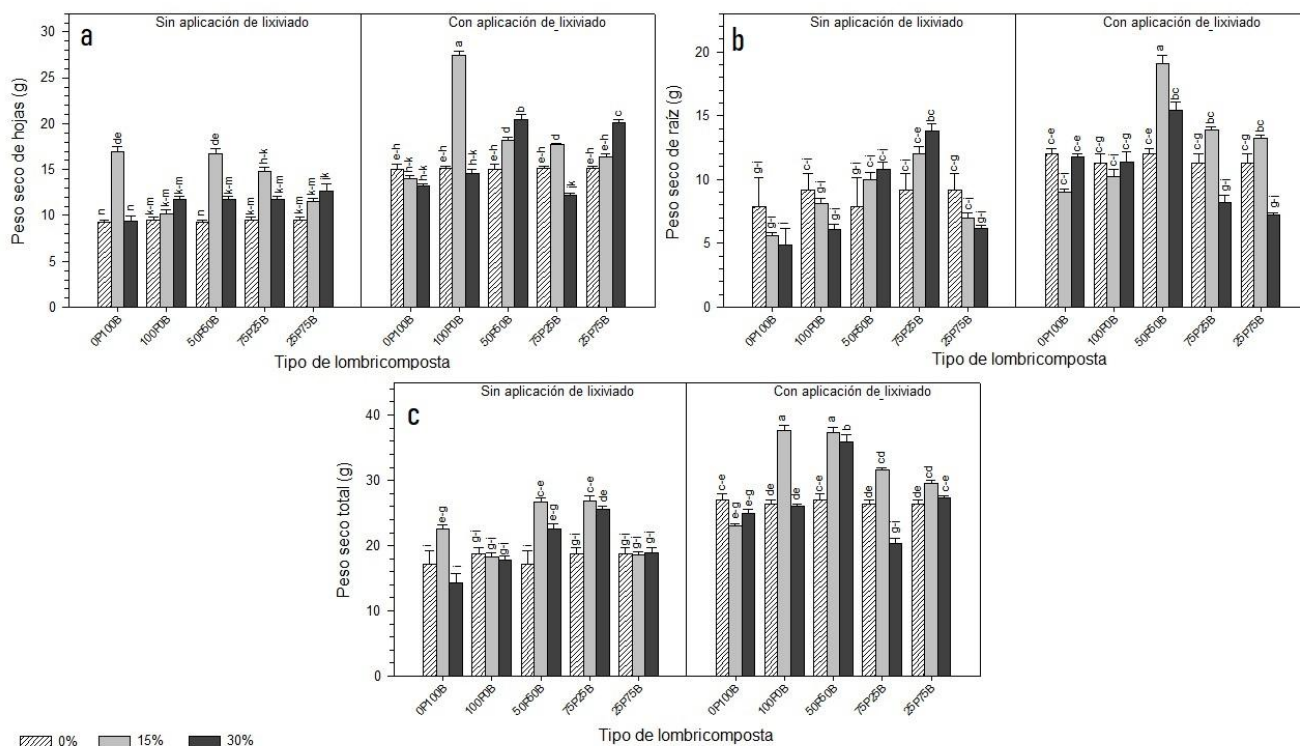


Figura 8. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre el peso seco de hojas (a), el peso seco de raíces (b) y el peso seco total (c) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

Las variables relacionadas con la calidad de la flor de gerbera como la altura y diámetro del pedúnculo, diámetro capítulo (tamaño de la flor), número de flores por planta y vida de poscosecha fueron significativamente influenciadas por el tipo de lombricomposta aplicada (Tabla 5). La proporción también tuvo un efecto estadísticamente significativo en todos los parámetros de calidad evaluados. De

igual forma, tanto la aplicación como la no aplicación de lixiviado impactaron de manera significativa en todas las variables analizadas, excepto la variable de número de flores por planta (Tabla 5). En particular, la altura del pedúnculo y el número de flores aumentó con el tipo de lombricomposta 100P, en comparación con el resto de lombricompostas (Tabla 4). El diámetro del pedúnculo mejoró con los tipos de lombricomposta 100P0B, 75P25B y 25P75B. El diámetro de capítulo mostró incremento con los tipos de lombricomposta 100P0B y 75P25B. Respecto al número de flores por planta el mejor tipo de lombricomposta para el incremento de esta variable fue 100P. La vida de poscosecha incrementó tanto con el tipo de lombricomposta 100B como con la 100P (Tabla 5).

Respecto a las proporciones evaluadas, el tratamiento al 15% mostró mejores resultados generales en comparación con el 0%, destacando incrementos en la altura del pedúnculo (58.7%), diámetro del pedúnculo (18.5%), diámetro del capítulo (639.3%) y número de flores por planta (70.9%). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre las proporciones 15% y 30% en la vida de florero, sin embargo, comparando ambas proporciones respecto al 0% el número de flores por planta se duplicó (Tabla 5). El efecto de la aplicación de lixiviado fue variable según el parámetro evaluado. En algunos casos, como la altura de pedúnculo, diámetro del capítulo y vida de poscosecha, los valores fueron superiores en los tratamientos con lixiviado. En contraste, la no-aplicación de lixiviado favoreció significativamente el diámetro del pedúnculo (Tabla 5), lo que sugiere un efecto selectivo del lixiviado dependiendo del órgano o función fisiológica involucrada.

Tabla 5. Efecto del tipo de lombricompostas, proporción agregada de lombricomposta al sustrato base de crecimiento y la no-aplicación y aplicación de lixiviado de lombricomposta sobre caracteres de calidad de flores de gerbera.

	Altura de pedúnculo (cm)	Diámetro de pedúnculo (mm)	Diámetro de capítulo (mm)	Flores por planta	Vida de postcosecha (días)
Tipo de lombricomposta					
100P0B	16.1 a	5.9 a	90.5 a	4.9 a	5.4 ab
75P25B	14.2 b	5.8 ab	89.9 ab	3.9 cd	4.8 cd
50P50B	14.5 b	5.6 b	88.4 b	4.3 bc	5.1 bc
25P75B	14.5 b	5.9 a	88.2 b	4.4 b	4.6 d
0P100B	12.9 c	5.3 c	81.9 c	3.7 d	5.7 a
ANOVA	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Proporción					
0%	10.9 c	5.4 b	71.5 c	3.1 c	3.1 b
15%	17.3 a	6.4 a	99.6 a	5.3 a	6.0 a
30%	14.9 b	5.4 b	92.2 b	4.4 b	6.2 a
ANOVA	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Lixiviado					
No-aplicación	14.0 b	5.8 a	85.5 b	4.3 a	4.9 b
Aplicación	14.8 a	5.6 b	90.1 a	4.2 a	5.2 a
ANOVA	<0.001	<0.001	<0.001	0.5742	0.0094
Interacciones					
VC*Prop	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
VC*Lix	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.0119
Prop*Lix	0.0273	<0.001	<0.001	<0.001	0.0074
VC*Prop*Li	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

VC=tipo de lombricomposta, Prop=proporción, Lix=lixiviado. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).

La longitud del pedúnculo en la gerbera presentó una interacción significativa entre los tres factores evaluados. El mayor incremento se obtuvo con la aplicación del tipo de lombricomposta 100P a una proporción del 15%, en combinación con la aplicación de lixiviado representando un incremento del 99.1% en comparación con el control correspondiente (Figura 9a). Un estudio realizado en gordolobo (*Verbascum thapsus* L.), reportó que la aplicación de lombricomposta a dosis de

4 y 8 kg/m² aumentó significativamente la altura del tallo floral (Norouzi *et al.* 2023). Asimismo, en un estudio en gladiolos (*Gladiolus spp.*), se reportó que la aplicación de 40% de lombricomposta en el sustrato de cultivo incrementó altura de los tallos florales (Ludwig *et al.* 2018). En cuanto al diámetro de pedúnculo, los tipos de lombricomposta 75P25B y 25P75B, al 15% pero con la no-aplicación de lixiviado, generaron incrementos significativos del 23.6% y 15.9%, respectivamente, comparados con el control correspondiente, no obstante, las mezclas 100P0B y 25P75B a la misma proporción (15%) también mejoraron este parámetro cuando se aplicó lixiviado (Figura 9b). Al respecto, investigaciones realizadas en plantas de girasol híbrido mostraron que la aplicación de lixiviado de lombricomposta incrementó el diámetro del pedúnculo, así como la altura de la planta, resultados que respaldan nuestras observaciones (Akhter Ripa *et al.* 2024). Estos resultados confirman los beneficios agronómicos de la lombricomposta y el lixiviado, aunque aún existen pocos estudios centrados en especies de plantas de ornato (Arancon *et al.* 2008; Gupta *et al.* 2014b; Andleeb *et al.* 2025).

Respecto al tamaño de la flor (diámetro de capítulo), los mejores resultados se obtuvieron con el tipo de lombricomposta 75P25B en proporción del 15% y 30%, sin lixiviado, lo que representó incrementos del 59.9% y 54.6%, respectivamente, en comparación con el control correspondiente (Figura 9c). A su vez, los tipos de lombricomposta 50P50B y 25P75B a proporción del 15% y el tipo de lombricomposta 100P0B al 15% y 30% con aplicación de lixiviado también incrementaron significativamente este parámetro (Figura 9c). Un experimento realizado en plantas de zinnia (*Zinnia elegans* L.) reportó un diámetro de 1.6 cm en plantas sin tratamiento y de 5.33 cm en plantas cultivadas en macetas con 20% de lombricomposta (Sultana *et al.* 2015). En flores de petunia (*Petunia hybrida* Hort. Vilm.) se reportó que el mayor diámetro de flor y capullo se obtuvo cuando se trató con sustrato a base de turba de coco + lombricomposta a una relación 2:1 (Singh *et al.* 2023).

El número de flores por planta alcanzó su valor máximo con el tipo de lombricomposta 0P100B al 15% con la no-aplicación de lixiviado, mostrando un

aumento del 163.7% (de 2.7 a 7.1 flores) respecto al control correspondiente (Figura 9d). Pese a lo anterior, se observó que el tipo de lombricomposta 50P50B en ambas proporciones (15% y 30%) representando un incremento del 149.1% y 141.1%, respectivamente, comparado con el control correspondiente, asimismo, el tipo de lombricomposta 100P0B al 15% con aplicación de lixiviado también muestra incremento en el parámetro de número de flores por planta (Figura 9d.) Estos hallazgos coinciden con estudios previos en especies ornamentales. En petunia, cultivadas en condiciones de invernadero, la sustitución de un sustrato comercial (MM360) por la lombricomposta en proporción del 20% al 40% aumentó significativamente el número de flores (Arancon *et al.* 2008). De forma similar, en cempasúchil, el mayor número de flores se obtuvo con un tratamiento que contenía 30% de lombricomposta de estiércol de bovino (Sangwan *et al.* 2010). En plantas de pensamiento (*Viola x wittrokiana* Gams), se reportó que la aplicación del 35% de lombricomposta mejoró notablemente la germinación, calidad de plántulas y floración (Shafique *et al.* 2023). En otro experimento realizado en petunias creciendo en un medio de crecimiento con 20% de vermicompost aumentó significativamente el número de flores y el crecimiento foliar en comparación con el control (Chamani 2008).

En cuanto a la vida de poscosecha, los mejores resultados se registraron con el tipo de lombricomposta 0P100B, en ambas proporciones (15% y 30%), con aplicación de lixiviado, representando un incremento 2.5 veces más comparados con el control correspondiente (Figura 9e). Estos tratamientos prolongaron la vida útil de la flor en un 150% (de 3 a 7.5 días). Además, se observó que la proporción del 30% del tipo de lombricomposta 100P0B con la aplicación de lixiviado también mejoró este parámetro al igual que especialmente los tipos de lombricomposta 100B, 100P y 50P50B en proporción del 30% con la no-aplicación de lixiviado (Figura 9e). Nuestros resultados se respaldan con otras investigaciones realizadas, por ejemplo, en caléndulas africanas (*Tagetes erecta* L.), se observó que la aplicación de lombricomposta a una dosis de 2.5 t ha, combinada con un 50% de fertilización química resultó en una vida útil más prolongada de las flores, con una mayor retención de humedad y menor pérdida fisiológica de peso

durante el almacenamiento a temperatura ambiente (Prasanthi *et al.* 2023). Asimismo, en un estudio sobre rosas híbridas (*Rosa hybrida* cv. Polar Star), se encontró que la incorporación de vermicomposta al sustrato de cultivo aumentó la vida en florero de las flores hasta 11.2 días, en comparación con las plantas cultivadas sin lombricomposta (Eskandari *et al.* 2016).

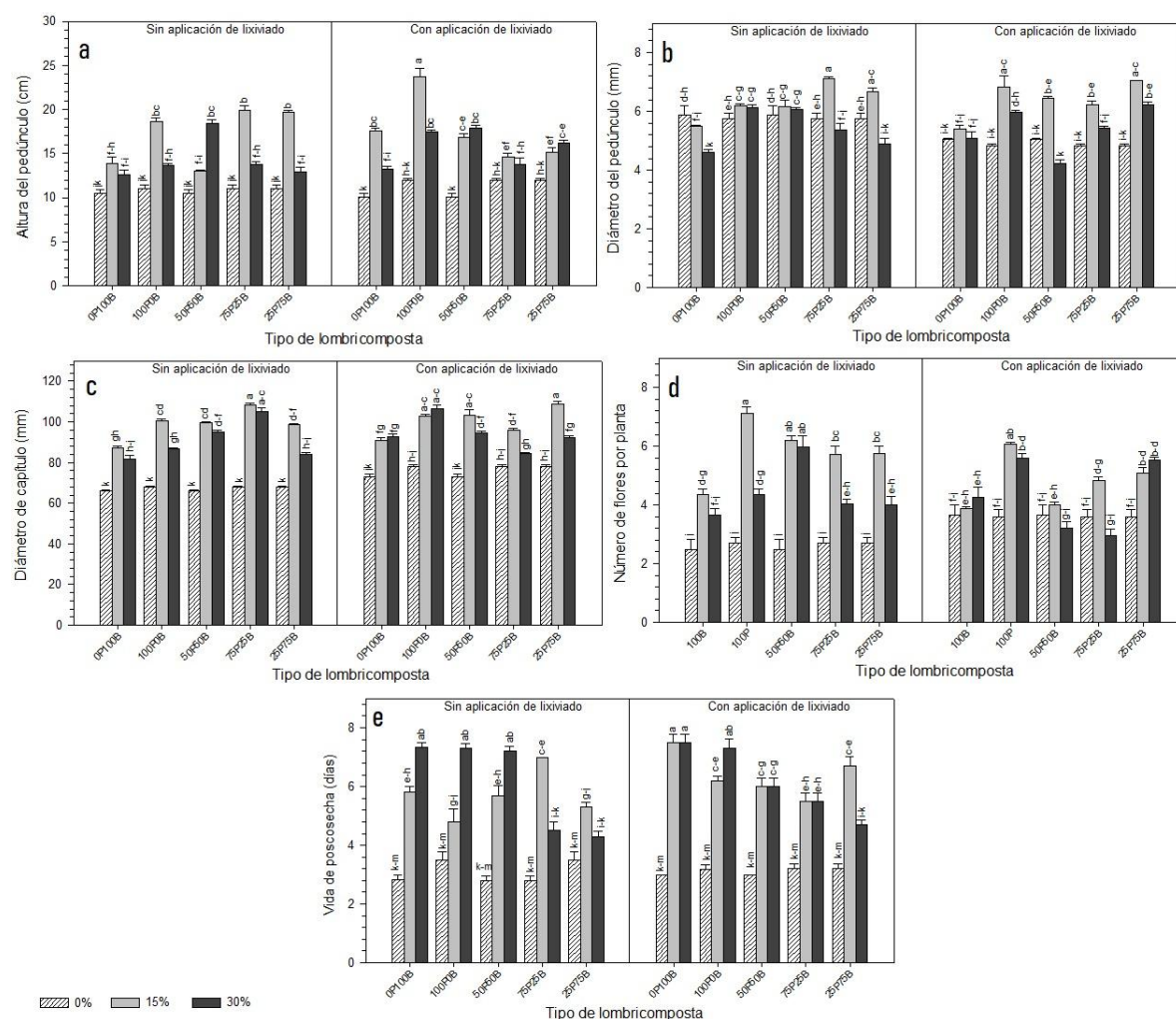


Figura 9. Efecto de cinco tipos de lombricomposta, tres dosis de aplicación, y la no aplicación y aplicación de lixiviado sobre la altura del pedúnculo (a), el diámetro del pedúnculo (b), el diámetro del capítulo (c), el número de flores por planta (d) y la vida poscosecha (e) de plantas de gerbera. Las barras representan el error estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que la lombricomposta, particularmente la derivada del estiércol porcino y sus mezclas, tiene un efecto significativo y positivo sobre el crecimiento, desarrollo y calidad floral de *Gerbera jamesonii*. La aplicación de la mezcla 75P25B en proporción del 15%, tanto con lixiviado como sin lixiviado, promovió incrementos sustanciales en variables morfológicas clave como número de hojas, altura de planta, biomasa fresca y seca aérea y de raíces, así como en atributos florales como el número de flores por planta y la vida postcosecha.

Además, la aplicación de lixiviado potenció varias variables, aunque su efecto fue dependiente del tipo de mezcla y del órgano vegetal evaluado, lo que sugiere un papel fisiológico diferenciado en el desarrollo de la planta.

Nuestros hallazgos confirman el alto valor agronómico de la lombricomposta, particularmente la derivada del estiércol porcino, un recurso subutilizado en la agricultura. Su implementación no solo mejora el rendimiento y la calidad de las flores, sino que también contribuye al manejo sostenible de residuos pecuarios. Asimismo, el estudio valida el uso de mezclas orgánicas como alternativa parcial o total a los sustratos comerciales, con beneficios tanto productivos como ambientales.

Finalmente, se destaca la necesidad de continuar investigando el efecto de bioinsumos como la lombricomposta y su lixiviado en cultivos ornamentales, especialmente bajo condiciones comerciales y a largo plazo. Este tipo de estudios permitirá avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles, eficientes y económicamente viables.

REFERENCIAS

- Abo-Baker, S., Ahmed, D., and Mahmoud, M. (2023) 'EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF ORGANIC FERTILIZERS AND PLANTING DATES ON THE PRODUCTIVITY OF SEEDS, ROOTS AND THEIR MUCILAGE CONTENT OF ALTHEA ROSEA PLANTS', *Sinai Journal of Applied Sciences*, 12(6), 0–0, available: <https://doi.org/10.21608/sinjas.2023.260784.1246>.
- Adhikary, S. (2012) 'Vermicompost, the story of organic gold: A review', *Agricultural Sciences*, 03(07), 905–917, available: <https://doi.org/10.4236/as.2012.37110>.
- Ahmad, W., Alharthy, R.D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., and Rafique, S. (2021) 'Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk', *Scientific Reports*, 11(1), 17006, available: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>.
- Ajay Bhardwaj, P.S. and Deepti Singh, R.K. (2017) 'Evaluation of Gerbera Varieties for Yield and Quality under Protected Environment Conditions in Bihar', *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 112–116, available: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.013>.
- Akhter Ripa, S., Husna, A., Naznin Sultana, M., Rifat Jahan Usha, M., and M Jamal Uddin, A.F. (2024) 'Impact of organic leachate on growth and yield of ornamental sunflower', *J. Biosci. Agric. Res*, 33(02), 2706–2714, available: <https://doi.org/10.18801/jbar.330224.325>.
- Ali, I.A.A., Hassan, S.E., Abdelhafez, A.A., Hewidy, M., Nasser, M.A., Saady, H.S., Hassan, K.M., and Abou-Hadid, A.F. (2024) 'Modifying the Growing Media and Bio Stimulants Supply for Healthy Gerbera (*Gerbera jamesonii*) Flowers', *Journal of Crop Health*, 76(1), 337–345, available: <https://doi.org/10.1007/s10343-023-00943-z>.
- Ali Reza Ladan Moghadam (2012) 'Vermicompost induced changes in growth and development of Liliun Asiatic hybrid var. Navona', *AFRICAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH*, 7(17), available: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1806>.
- Almeida, E.F.A., Paiva, P.D.O., Frazão, J.E.M., Santos, F.H.S., Resende, F.A., and Campos, M.L. (2012) 'Produção de copo-de-leite em resposta à adubação com NPK e esterco bovino', *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, 18(2), 129, available: <https://doi.org/10.14295/rbho.v18i2.684>.

- Andleeb, S., Shafique, I., and Liaqat, I. (2025) 'Sustainable Agriculture Practices', in *Natural Pesticides and Allelochemicals*, Boca Raton: CRC Press, 366–381, available: <https://doi.org/10.1201/9781003463429-27>.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., and Metzger, J.D. (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*, 39(1), 91–99, available: <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2007.11.010>.
- Araújo, E.N. de, Oliveira, A.P. de, Cavalcante, L.F., Pereira, W.E., Brito, N.M. de, Neves, C.M. de L., and Silva, É.É. da (2007) 'Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(5), 466–470, available: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500003>.
- Arnon, D.I. and Stout, P.R. (1939) 'THE ESSENTIALITY OF CERTAIN ELEMENTS IN MINUTE QUANTITY FOR PLANTS WITH SPECIAL REFERENCE TO COPPER', *Plant Physiology*, 14(2), 371–375, available: <https://doi.org/10.1104/pp.14.2.371>.
- Aslam, Z., Ahmad, A., Bellitürk, K., Kanwal, H., Asif, M., and Ullah, E. (2023) 'Integrated Use of Simple Compost, Vermicompost, Vermi-Tea and Chemical Fertilizers NP on the Morpho-Physiological, Yield and Yield Related Traits of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.)', *Journal of Innovative Sciences*, 9(1), available: <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2023/9.1.1.12>.
- Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., and Metzger, J.D. (2002) 'The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds', *Bioresource Technology*, 81(2), 103–108, available: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00122-5).
- Ávila-Juárez, L., Rodríguez González, A., Rodríguez Piña, N., Guevara González, R.G., Torres Pacheco, I., Ocampo Velázquez, R.V., and Moustapha, B. (2015) 'Vermicompost leachate as a supplement to increase tomato fruit quality', *Journal of soil science and plant nutrition*, (ahead), 0–0, available: <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000005>.
- Ayyobi, H., Hassanpour, E., Alaqemand, S., Fathi, S., Olfati, J.A., and Peyvast, Gh. (2014) 'Vermicompost Leachate and Vermiwash Enhance French Dwarf Bean Yield', *International Journal of Vegetable Science*, 20(1), 21–27, available: <https://doi.org/10.1080/19315260.2012.753496>.

- Bachman, G.R. and Metzger, J.D. (2008) 'Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost', *Bioresource Technology*, 99(8), 3155–3161, available: <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.05.069>.
- Baliah, T.N. and Muthulakshmi, P. (2017) 'Effect of Microbially Enriched Vermicompost on the Growth and Biochemical Characteristics of Okra (*Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench)', *Advances in Plants & Agriculture Research*, 6(5), available: <https://doi.org/10.15406/apar.2017.06.00228>.
- Bianco, A., Fancello, F., Garau, M., Deroma, M., Atzori, A.S., Castaldi, P., Zara, G., and Budroni, M. (2022) 'Microbial and chemical dynamics of brewers' spent grain during a low-input pre-vermicomposting treatment', *Science of The Total Environment*, 802, 149792, available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149792>.
- Bidabadi, S.S., Afazel, M., and Poodeh, S.D. (2016) 'The effect of vermicompost leachate on morphological, physiological and biochemical indices of *Stevia rebaudiana* Bertoni in a soilless culture system', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3), 251–262, available: <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0135-5>.
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., and Mathieu, J. (2019) 'Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis', *Agronomy for Sustainable Development*, 39(4), 34, available: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>.
- Bremner, J.M. (1996) *Nitrogen-Total*.
- Čabilovski, R., Manojlović, M.S., Popović, B.M., Radojčin, M.T., Magazin, N., Petković, K., Kovačević, D., and Lakićević, M.D. (2023a) 'Vermicompost and Vermicompost Leachate Application in Strawberry Production: Impact on Yield and Fruit Quality', *Horticulturae*, 9(3), 337, available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030337>.
- Čabilovski, R., Manojlović, M.S., Popović, B.M., Radojčin, M.T., Magazin, N., Petković, K., Kovačević, D., and Lakićević, M.D. (2023b) 'Vermicompost and Vermicompost Leachate Application in Strawberry Production: Impact on Yield and Fruit Quality', *Horticulturae*, 9(3), 337, available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030337>.
- Cakmak, I., Brown, P., Colmenero-Flores, J.M., Husted, S., Kutman, B.Y., Nikolic, M., Rengel, Z., Schmidt, S.B., and Zhao, F.J. (2023) 'Micronutrients', *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, 283–385, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00017-4>.

- Camargo, M.S. de, Mello, S. da C., Anti, G.R., and Carmello, Q.A. de C. (2005) 'Crescimento e absorção de nutrientes pelo *Aster ericoides* cultivado em solo sob estufa', *Horticultura Brasileira*, 23(2), 271–274, available: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000200021>.
- Cardoso, J.C. and Teixeira da Silva, J.A. (2013) 'Gerbera micropropagation', *Biotechnology Advances*, 31(8), 1344–1357, available: <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2013.05.008>.
- Carrodegua-Gonzalez, A. and Zuñiga Orozco, A. (2020) 'Bases para la mejora genética en *Gerbera hybrida*', *Repertorio Científico*, 23(2), 51–62, available: <https://doi.org/10.22458/rc.v23i2.3000>.
- Celikcan, F., Kocak, M.Z., and Kulak, M. (2021) 'Vermicompost applications on growth, nutrition uptake and secondary metabolites of *Ocimum basilicum* L. under water stress: A comprehensive analysis', *Industrial Crops and Products*, 171, 113973, available: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113973>.
- Chamani, E. (2008) *Vermicompost Effects on the Growth and Flowering of Petunia Hybrida 'Dream Neon Rose' American-Eurasian*, available: <https://www.researchgate.net/publication/43518490>.
- Chinsamy, M., Kulkarni, M.G., and Van Staden, J. (2014) 'Vermicompost Leachate Reduces Temperature and Water Stress Effects in Tomato Seedlings', *HortScience*, 49(9), 1183–1187, available: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.9.1183>.
- Clive A. Edwards, Norman Q. Arancon, and Rhonda L. Sherman (2010) *Vermiculture Technology* [online], zeszow, Poland: CRC Press, available: <https://doi.org/10.1201/b10453>.
- Coelho, V.A.T., Rodas, C.L., Coelho, L.C., Carvalho, J.G. De, Almeida, E.F.A., and Figueiredo, M.A. De (2012) 'Caracterização de sintomas visuais de deficiências de macronutrientes e boro em plantas de gengibre ornamental', *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, 18(1), 47, available: <https://doi.org/10.14295/rbho.v18i1.692>.
- Conley, D.J., Paerl, H.W., Howarth, R.W., Boesch, D.F., Seitzinger, S.P., Havens, K.E., Lancelot, C., and Likens, G.E. (2009) 'Ecology - Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus', *Science*, available: <https://doi.org/10.1126/science.1167755>.

- Devi, P.I., Manjula, M., and Bhavani, R.V. (2022) 'Agrochemicals, Environment, and Human Health', *Annual Review of Environment and Resources*, 47(1), 399–421, available: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120920-111015>.
- Doan, T.T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J.-L., and Jouquet, P. (2015) 'Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment', *Science of The Total Environment*, 514, 147–154, available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.005>.
- Dox, D., Finez, E., and Talimbay, J.E. (2023) 'Advantages and Disadvantages of Using Inorganic Fertilizers for Agriculture', *International Journal of Transdisciplinary Research and Innovations* ISSN, 1(1), 1–7, available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8137249>.
- Dushyant, S., Kumar, S., Maurya, A.K., and Meena, K.R. (2014) *Journal of Crop and Weed*, Vidya-Vihar, Rae Bareilly Road, Lucknow-226025, U.P., available: https://www.cwss.in/Journal/Complete_jurnal/Vol.10%20No.1__19.pdf [accessed 18 Mar 2025].
- Edwards, C.A. and Arancon, N.Q. (2022) 'The Use of Earthworms in Organic Waste Management and Vermiculture', in *Biology and Ecology of Earthworms*, New York, NY: Springer US, 467–527, available: https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3_14.
- El-Shaieny, A.-H.A.H., FARRAG, H.M., BAKR, A.A.A., and ABDELRAHEED, K.G. (2022) 'Combined use of compost, compost tea, and vermicompost tea improves soil properties, and growth, yield, and quality of (*Allium cepa* L.)', *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(1), 12565, available: <https://doi.org/10.15835/nbha50112565>.
- Ernest A. Kirkby, Miroslav Nikolic, Philip J. White, and Guohua Xu (2023) 'Mineral nutrition, yield, and source–sink relationships', in *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, Elsevier, 131–200, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00015-0>.
- Eskandari, F., nabigol, A., and Abdusi, V. (2016) 'Increasing Vase Life and Physiological Characteristics of The Cut Flowers Of *Rosa Hybrid* cv Polar Star Using Vermicompost and Humic Acid', *Flower and Ornamental Plants*, 1(1), 38–44, available: <https://flowerjournal.ir/article-1-105-en.html> [accessed 31 May 2025].
- Fahrurrozi, Mukhtar, Z., and Sudjatmiko, S. (2023) 'Agronomic Responses of Sweet Corn-Peanut Intercropping to Liquid Organic Fertilizer Grown in Different

- Dosages of Vermicompost', *Agrivita*, 45(2), 220–230, available: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v45i2.3902>.
- Fuaad Abdaljabar, Z., Hashum Al-Hashemi, F., Hantoosh Neamah, W., and Mohammed Adil, A. (2025) 'The Role of Organic Fertilizer on The Growth of Ornamental Plants (A Review) ARTICLE INFO', available: <https://doi.org/10.47631/jsrmb.v6i1.895>.
- Furtini Neto, A.E., Boldrin, K.V.F., and Mattson, N.S. (2015) 'Nutrition and Quality in Ornamental Plants', *Ornamental Horticulture*, 21(2), 139, available: <https://doi.org/10.14295/aohl.v21i2.809>.
- Garg, V.K. and Gupta, R. (2009) 'Vermicomposting of Agro-Industrial Processing Waste', in *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*, Dordrecht: Springer Netherlands, 431–456, available: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_24.
- Geisseler, D. and Scow, K.M. (2014) 'Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review', *Soil Biology and Biochemistry*, 75, 54–63, available: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>.
- Gómez-Brandón, M., Vela, M., Martínez-Toledo, V., Insam, H., and Domínguez, J. (2015) *Effects of Compost and Vermicompost Teas as Organic Fertilizers*, Austria, available: https://jdiguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2015/04/Ch-12_Vol.%201_compost%20tea.pdf [accessed 21 May 2025].
- Guerrero, A.C., Fernandes, D.M., and Ludwig, F. (2012) 'Acúmulo de nutrientes em gérbera de vaso em função de fontes e doses de potássio', *Horticultura Brasileira*, 30(2), 201–208, available: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200004>.
- Gupta, R., Yadav, A., and Garg, V.K. (2014a) 'Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(1), 47, available: <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0047-1>.
- Gupta, R., Yadav, A., and Garg, V.K. (2014b) 'Influence of vermicompost application in potting media on growth and flowering of marigold crop', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(1), 47, available: <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0047-1>.
- Haque, M.M. and Biswas, J.C. (2021) 'Emission factors and global warming potential as influenced by fertilizer management for the cultivation of rice under varied growing seasons', *Environmental Research*, 197, 111156, available: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111156>.

- Harris, E.M. (1995) 'Inflorescence and floral ontogeny in asteraceae: A synthesis of historical and current concepts', *The Botanical Review*, 61(2–3), 93–278, available: <https://doi.org/10.1007/BF02887192>.
- Hawkesford, M.J., Cakmak, I., Coskun, D., De Kok, L.J., Lambers, H., Schjoerring, J.K., and White, P.J. (2023) 'Functions of macronutrients', in *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, Elsevier, 201–281, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00019-8>.
- Hazelton, P. and Murphy, B. (2016) *INTERPRETING SOIL TEST RESULTS WHAT DO ALL THE NUMBERS MEAN?*
- Jeyabal, A. and Kuppaswamy, G. (2001) 'Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice–legume cropping system and soil fertility', *European Journal of Agronomy*, 15(3), 153–170, available: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00100-3).
- Joshi, R., Singh, J., and Vig, A.P. (2015) 'Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants', *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 14(1), 137–159, available: <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9347-1>.
- Jouquet, EP., Bloquel, E., Doan, T.T., Ricoy, M., Orange, D., Rumpel, C., and Duc, T.T. (2011) 'Do Compost and Vermicompost Improve Macronutrient Retention and Plant Growth in Degraded Tropical Soils?', *Compost Science & Utilization*, 19(1), 15–24, available: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10736972>.
- Kalika-Singh, S., Ansari, A., and Maharaj, G. (2022) 'Vegetable Crop Cultivation using Vermicompost in Comparison to Chemical Fertilizers: A Review', *Agricultural Reviews*, (Of), available: <https://doi.org/10.18805/ag.RF-234>.
- Katiyar, R.B., Sundaramurthy, S., Sharma, A.K., Arisutha, S., Pratap-Singh, A., Mishra, S., Ayub, R., Jeon, B.-H., and Khan, M.A. (2023) 'Vermicompost: An Eco-Friendly and Cost-Effective Alternative for Sustainable Agriculture', *Sustainability*, 15(20), 14701, available: <https://doi.org/10.3390/su152014701>.
- Kaur, G., Rani, N., and Kaur Bal, K. (2024) 'Environmental Science Archives Comparative Analysis of Vermicompost Quality Produced from Different Organic Materials', 2, available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13879921>.
- Kirkby, E.A. (2023) 'Introduction, definition, and classification of nutrients', in *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, Elsevier, 3–9, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00016-2>.

- Kosem, H., Kocak, M.Z., Kaysim, M.G., Celikcan, F., and Kulak, M. (2022) 'Liquid Leachate Produced from Vermicompost Effects on Some Agronomic Attributes and Secondary Metabolites of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) Exposed to Severe Water Stress Conditions', *Horticulturae*, 8(12), 1190, available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121190>.
- Kováčik, P., Renčo, M., Šimanský, V., Hanáčková, E., and Wiśniowska-Kielian, B. (2015) 'IMPACT OF VERMICOMPOST EXTRACT APPLICATION INTO SOIL AND ON PLANT LEAVES ON MAIZE PHYTOMASS FORMATION', *Journal of Ecological Engineering*, 16, 143–153, available: <https://doi.org/10.12911/22998993/59363>.
- Kováčik, P., Šimanský, V., Smoleň, S., Neupauer, J., and Olšovská, K. (2022) 'The Effect of Vermicompost and Earthworms (*Eisenia fetida*) Application on Phytomass and Macroelement Concentration and Tetanic Ratio in Carrot', *Agronomy*, 12(11), 2770, available: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112770>.
- Kovshov, S. V. and Iconnicov, D.A. (2017a) 'Growing of grass, radish, onion and marigolds in vermicompost made from pig manure and wheat straw', *Indian Journal of Animal Research*, 51(4), 327–333, available: <https://doi.org/10.18805/ijare.v51i04.8417>.
- Kovshov, S. V. and Iconnicov, D.A. (2017b) 'Growing of grass, radish, onion and marigolds in vermicompost made from pig manure and wheat straw', *Indian Journal Of Agricultural Research*, 51(04), available: <https://doi.org/10.18805/ijare.v51i04.8417>.
- Kulling, D.R., MENZI, H., KRÖBER, T.F., NEFTEL, A., SUTTER, F., LISCHER, P., and KREUZER, M. (2001) 'Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from different types of dairy manure during storage as affected by dietary protein content', *The Journal of Agricultural Science*, 137(2), 235–250, available: <https://doi.org/10.1017/S0021859601001186>.
- Kutman, U.B. (2023) 'Mineral nutrition and crop quality', in *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, Elsevier, 419–444, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00020-4>.
- Lalander, C.H., Komakech, A.J., and Vinnerås, B. (2015) 'Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms – Kampala case study', *Waste Management*, 39, 96–103, available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.009>.
- Lim, S.L., Wu, T.Y., Lim, P.N., and Shak, K.P.Y. (2015) 'The use of vermicompost in organic farming: Overview, effects on soil and economics', *Journal of the Science*

- of Food and Agriculture*, 95(6), 1143–1156, available: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>.
- Lirikum, Kakati, L.N., Thyug, L., and Mozhui, L. (2022) 'Vermicomposting: an eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement', *Tropical Ecology*, 63(3), 325–337, available: <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>.
- Liu, X., Ren, G., and Shi, Y. (2011) 'The effect of organic manure and chemical fertilizer on growth and development of *Stevia rebaudiana* Bertonii', *Energy Procedia*, 5, 1200–1204, available: <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2011.03.210>.
- Loera-Muro, A., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., Barraza, A., Caamal-Chan, G., Lucero-Vega, G., and Nieto-Garibay, A. (2021) 'Effects of Vermicompost Leachate versus Inorganic Fertilizer on Morphology and Microbial Traits in the Early Development Growth Stage in Mint (*Mentha spicata* L.) And Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Plants under Closed Hydroponic System', *Horticulturae*, 7(5), 100, available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050100>.
- Ludwig, F., Da Cruz, L.R.D., Steffen, G.P.K., and Maldaner, J. (2018) 'Development and quality of gladiolus stems with the use of vermicompost and *Trichoderma* sp. in substrate', *Ornamental Horticulture*, 24(1), 70–77, available: <https://doi.org/10.14295/oh.v24i1.1131>.
- Maitra, S., Shankar, T., Sairam, M., and Pine, S. (2020) *Evaluation of Gerbera (Gerbera Jamesonii L.) Cultivars for Growth, Yield and Flower Quality under Protected Cultivation*, Indian Journal of Natural Sciences www.tnsroindia.org.in ©IJONS, available: www.tnsroindia.org.in.
- Malik, Naveed Ahmad, and Muhammad Saleem Akhtar Khan (2013) *Comparative Evaluation of Growth, Yield and Quality Characteristics of Various Gerbera (Gerbera Jamesonii L.) Cultivars under Protected Condition*, Pakistan, available: www.SID.ir.
- Marschner, P. (2011) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants Third Edition*, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.X0001-5>.
- Martínez-Ballesta, M.C., Dominguez-Perles, R., Moreno, D.A., Muries, B., Alcaraz-López, C., Bastías, E., García-Viguera, C., and Carvajal, M. (2010) 'Minerals in plant food: effect of agricultural practices and role in human health. A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 295–309, available: <https://doi.org/10.1051/agro/2009022>.

- Masondo, N.A., Kulkarni, M.G., Rengasamy, K.R.R., Pendota, S.C., Finnie, J.F., and Van Staden, J. (2016) 'Effect of vermicompost leachate in *Ceratotheca triloba* under nutrient deficiency', *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(10), 236, available: <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2252-1>.
- Menzi H., Oenema O., Burton C., Shipin O., Gerber P., Robinson T., Franceschini G., Steinfeld H., Mooney H., and Schneider F. (2013) 'Impacts of intensive livestock production and manure management on the environment', in Henning Steinfeld, H. A. Mooney, F. Schneider and L. E. Neville, eds., *Livestock in a Changing Landscape Drivers, Consequences and Responses*, USA, 139–163.
- More, S., Deshmukh, S., and Deshmukh, V. (2013) 'African Journal of Agricultural Research Effect of integrated nitrogen management with vermiwash in corn (*Zea mays* L.) on growth and yield', 8(38), 4761–4765, available: <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7304>.
- Nasiru, A., Ismail, N., and Ibrahim, M.H. (2013) 'Vermicomposting: Tool for Sustainable Ruminant Manure Management', *Journal of Waste Management*, 2013, 1–7, available: <https://doi.org/10.1155/2013/732759>.
- Nigussie, A., Kuyper, T.W., Bruun, S., and de Neergaard, A. (2016) 'Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting', *Journal of Cleaner Production*, 139, 429–439, available: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>.
- Norouzi, E.R., Sh. Khaghani, M. Gomarian, A. Azizi, and F. Mortazaeinezhad (2023) 'The Effect of Using Different Levels of Vermicompost on The Growth and Morphological and Physiological Characteristics of Medicinal-Ornamental Plant of Mullein (*Verbascum thapsus*) Under Drought Stress Conditions', *Journal of Soil and Plant Interactions*, 14(2), available: <https://doi.org/10.47176/jspi.14.2.20891>.
- Olle, M. (2019a) 'Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture', *Agraarteadus*, available: <https://doi.org/10.15159/jas.19.19>.
- Olle, M. (2019b) 'Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture', *Agraarteadus*, available: <https://doi.org/10.15159/jas.19.19>.
- Oyege, I. and Balaji Bhaskar, M.S. (2023) 'Effects of Vermicompost on Soil and Plant Health and Promoting Sustainable Agriculture', *Soil Systems*, 7(4), 101, available: <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>.
- Oyege, I. and Balaji Bhaskar, M.S. (2024) 'Evaluation of vermicompost and vermicompost tea application on corn (*Zea mays*) growth and physiology using

- optical plant sensors', *Journal of Plant Nutrition*, 1–19, available: <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2434583>.
- Ozyazici, G. and Turan, N. (2021) 'Effect of Vermicompost Application on Mineral Nutrient Composition of Grains of Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.)', *Sustainability*, 13(11), 6004, available: <https://doi.org/10.3390/su13116004>.
- Pahalvi, H.N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., and Kamili, A.N. (2021) 'Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health', in *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2*, Cham: Springer International Publishing, 1–20, available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1.
- Panda, A.K., Mishra, R., Dutta, J., Wani, Z.A., Pant, S., Siddiqui, S., Alamri, S.A., Alrumman, S.A., Alkahtani, M.A., and Bisht, S.S. (2022) 'Impact of Vermicomposting on Greenhouse Gas Emission: A Short Review', *Sustainability*, 14(18), 11306, available: <https://doi.org/10.3390/su141811306>.
- Pant, A., Radovich, T.J.K., Hue, N.V., and Arancon, N.Q. (2011) 'Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties', *Compost Science & Utilization*, 19(4), 279–292, available: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.10737010>.
- Papathanasiou, F. (2005) *Vermicompost as a Soil Supplement to Improve Growth, Yield and Quality of Lettuce (Lactuca Sativa L.)*, available: www.world-food.net.
- Pathma, J. and Sakthivel, N. (2012) 'Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential', *SpringerPlus*, 1(1), 26, available: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26>.
- Peng, W., Wang, Y., Cui, G., Xu, Q., Zhang, H., He, P., and Lü, F. (2024) 'Compost quality, earthworm activities and microbial communities in biochar-augmented vermicomposting of dewatered activated sludge: the role of biochar particle size', *Biochar*, 6(1), 73, available: <https://doi.org/10.1007/s42773-024-00365-8>.
- Pereira, M.M.A., Moraes, L.C., Mogollón, M.C.T., Borja, C.J.F., Duarte, M., Buttrós, V.H.T., Luz, J.M.Q., Pasqual, M., and Dória, J. (2022) 'Cultivating Biodiversity to Harvest Sustainability: Vermicomposting and Inoculation of Microorganisms for Soil Preservation and Resilience', *Agronomy*, 13(1), 103, available: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010103>.
- Podolak, A., Kostecka, J., Mazur-Pączka, A., Garczyńska, M., Pączka, G., and Szura, R. (2020) 'Life Cycle of the *Eisenia fetida* and *Dendrobaena veneta* Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae)', *Journal of Ecological Engineering*, 21(1), 40–45, available: <https://doi.org/10.12911/22998993/113410>.

- Prasanthi, chirukuri, Piloo, N. g, Singh, U.C., Moirangthem, A., and Singh, N.G. (2023) 'EFFECT OF INTEGRATED NUTRIENT MANAGEMENT ON FLOWERING, POSTHARVEST LIFE AND XANTHOPHYLL CONTENT OF AFRICAN MARIGOLD (*Tagetes erecta* L.) CV. PUSA BASANTI GAINDA', *JOURNAL OF ECO-FRIENDLY AGRICULTURE*, 18(2), 293–297, available: <https://doi.org/10.48165/jefa.2023.18.02.13>.
- Prodhan, A., Nazirul Islam Sarker, M., Shahidul Islam, M., and Arshad Ali, M. (2017) 'Status and Prospect of Gerbera Cultivation in Bangladesh', *International journal of Horticulture*, 1(1), available: www.aipublications.com.
- Quaik, S., Embrandiri, A., Rupani, P.F., and Ibrahim, M.H. (2012) 'Potential of Vermicomposting Leachate as Organic Foliar Fertilizer and Nutrient Solution in Hydroponic Culture: A Review', available: <https://doi.org/10.7763/IPCBE>.
- Rabbee, H.E., Methela, N.J., Hossain, B., and Suhel, M.R.I. (2020) 'Growth and yield response of Broccoli to vermicompost and farmyard manure', *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 25(2), 2107–2113, available: <https://doi.org/10.18801/jbar.250220.257>.
- Raza, S.T., Zhu, B., Tang, J.L., Ali, Z., Anjum, R., Bah, H., Iqbal, H., Ren, X., and Ahmad, R. (2020) 'Nutrients Recovery during Vermicomposting of Cow Dung, Pig Manure, and Biochar for Agricultural Sustainability with Gases Emissions', *Applied Sciences*, 10(24), 8956, available: <https://doi.org/10.3390/app10248956>.
- Robe Elema, W. (2021) 'Preparation and characterization of vermicompost made from different sources of materials', *Open Journal of Plant Science*, 042–048, available: <https://doi.org/10.17352/ojps.000031>.
- Rodrigues, T.M., Rodrigues, C.R., Paiva, R., Faquin, V., Paiva, P.D. de O., and Paiva, L.V. (2008) 'Níveis de potássio em fertirrigação interferindo no crescimento/desenvolvimento e qualidade do crisântemo', *Ciência e Agrotecnologia*, 32(4), 1168–1175, available: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400020>.
- Rosa, Y.B.C.J., Eulene Francisco da Silva, Islaine Caren Fonseca, Juslei Figueiredo Silva, and Edgard Jardim Rosa Junior (2012) 'Crescimento e sintomas de deficiência nutricional em *Iris germanica* L. decorrentes da omissão de macronutrientes', (17), available: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/1778> [accessed 23 May 2025].
- Sangma, Devi Singh, and Urfi Fatmi (2017) 'Effect of Plant Growth Regulators on Growth, Yield and Flower Quality of Gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) cv. Pink Elegance under Naturally Ventilated Polyhouse (NVPH)', *International Journal of*

Current Microbiology and Applied Sciences, 6(10), 468–476, available: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.057>.

Sangwan, P., Garg, V.K., and Kaushik, C.P. (2010) 'Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes', *The Environmentalist*, 30(2), 123–130, available: <https://doi.org/10.1007/s10669-009-9251-3>.

Shafique, I., Andleeb, S., Aftab, M.S., Naeem, F., Ali, S., Yahya, S., Ahmed, F., Tabasum, T., Sultan, T., Shahid, B., Khan, A.H., Islam, G. ul, and Abbasi, W.A. (2021) 'Efficiency of cow dung based vermi-compost on seed germination and plant growth parameters of *Tagetes erectus* (Marigold)', *Heliyon*, 7(1), available: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05895>.

Shafique, I., Andleeb, S., Naeem, F., Ali, S., Tabassam, T., Sultan, T., and Almas Abbasi, M. (2023) 'Cow dung putrefaction via vermicomposting using *Eisenia fetida* and its influence on seed sprouting and vegetative growth of *Viola wittrockiana* (pansy)', *PLOS ONE*, 18(2), e0279828, available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279828>.

Shrimal, S. and Khwairakpam, M. (2010) *Dynamic Soil, Dynamic Plant Effect of C/N Ratio on Vermicomposting of Vegetable Waste*, India.

Singh, A.K., Kumar, R., Tomar, K.S., Gupta, A.K., Kumar, H., and Patel, R. (2023) 'Influence of potting media composition on quality flower production of petunia (*Petunia hybrida*)', *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), 3101–3108, available: <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2188075>.

Singh, L., Gurjar, P.K.S., Barholia, A.K., Haldar, A., and Shrivastava, A. (2015) 'EFFECT OF ORGANIC MANURES AND INORGANIC FERTILIZERS ON GROWTH AND FLOWER YIELD OF MARIGOLD (*TAGETES ERECTA* L.) VAR. PUSA NARANGI GAINDA', 15(2), 779–783.

Soltanpour, P.N., Johnson, G.W., Workman, S.M., Jones, J.B., and Miller, R.O. (2018) 'Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry', 91–139, available: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c5>.

Soroa, M.R. (2005) *Revisión Bibliográfica Gerbera Jamesonii L. Bolus*, Cultivos Tropicales.

- Steiner, A.A. (1961) *^JöoJtJ-Bibliotheek Proefstation Voor de Groenten-En A UNIVERSAL METHOD FOR PREPARING NUTRIENT SOLUTIONS OF A CERTAIN DESIRED COMPOSITION.*
- Stewart, W.M. and Roberts, T.L. (2012) 'Food Security and the Role of Fertilizer in Supporting it', *Procedia Engineering*, 46, 76–82, available: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.448>.
- Sultana, S., Kashem, Md.A., and Mollah, A.K.M.M. (2015) 'Comparative Assessment of Cow Manure Vermicompost and NPK Fertilizers and on the Growth and Production of Zinnia (*Zinnia elegans*) Flower', *Open Journal of Soil Science*, 05(09), 193–198, available: <https://doi.org/10.4236/ojss.2015.59019>.
- Swati, A. and Hait, S. (2018) 'A Comprehensive Review of the Fate of Pathogens during Vermicomposting of Organic Wastes', *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 16–29, available: <https://doi.org/10.2134/jeq2017.07.0265>.
- Swenson, U. and Bremer, K. (1994) 'The genus *Lagenocypsela* (Asteraceae, Astereae) in New Guinea', *Australian Systematic Botany*, 7(3), 265, available: <https://doi.org/10.1071/SB9940265>.
- Syarifinnur, S., Nuraini, Y., Prasetya, B., and Handayanto, E. (2023) 'Comparing compost and vermicompost produced from market organic waste', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(3), 279–289, available: <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1944251.1368>.
- Taiz, E., Zeiger, I., M. Møller, and A. Murphy (2015) *Plant Physiology and Development.*, 6th ed., Emeritus, University of California, Santa Cruz, California, USA: CABI digital library.
- Tejada, M. and González, J.L. (2009) 'Application of Two Vermicomposts on a Rice Crop: Effects on Soil Biological Properties and Rice Quality and Yield', *Agronomy Journal*, 101(2), 336–344, available: <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0211>.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Hernandez, M.T., and Garcia, C. (2008) 'Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes', *Bioresource Technology*, 99(14), 6228–6232, available: <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.12.031>.

- Teresa Salazar-Ramírez, M. (2018) *Caracterización de Sustratos Orgánicos En La Producción de Stevia Rebaudiana Bertoni*, available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- Thakur, R., Jamwal, S., Das, A., Sinver, M., Tanwar, C., and Tarafdar, A. (2025) 'Pig waste management', in *Commercial Pig Farming*, Elsevier, 423–442, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23769-0.00024-5>.
- Theunissen, J., Ndakidemi, P.A., and Laubscher, C.P. (2010) *Potential of Vermicompost Produced from Plant Waste on the Growth and Nutrient Status in Vegetable Production Vermicompost Contains Plant Nutrients Including N*, *International Journal of the Physical Sciences*, available: <http://www.academicjournals.org/IJPS>.
- Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M.J., and Hernández, M.T. (2005) 'Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality', *Compost Science & Utilization*, 13(1), 6–13, available: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2005.10702212>.
- Toor, M.D., Ay, A., Ullah, I., Demirkaya, S., Kızılkaya, R., Mihoub, A., Zia, A., Jamal, A., Ghfar, A.A., Di Serio, A., and Ronga, D. (2024) 'Vermicompost Rate Effects on Soil Fertility and Morpho-Physio-Biochemical Traits of Lettuce', *Horticulturae*, 10(4), 418, available: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040418>.
- Torres-García, A., Héctor-Ardisana, E.F., León-Aguilar, R., Zambrano-Gavilanes, F.E., and Fosado Téllez, O.A. (2024) 'Vermicompost Leachate-Based Biostimulant and its Effects on Physiological Variables and Yield of Different Crops in Manabí, Ecuador', *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(1), available: https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3388.
- Vamvuka, D. and Raftogianni, A. (2021) 'Evaluation of Pig Manure for Environmental or Agricultural Applications through Gasification and Soil Leaching Experiments', *Applied Sciences*, 11(24), 12011, available: <https://doi.org/10.3390/app112412011>.
- Veatch-Blohm, M.E., Malinowski, M., and Keefer, D. (2012a) 'Leaf water status, osmotic adjustment and carbon assimilation in colored calla lilies in response to saline irrigation', *Scientia Horticulturae*, 144, 65–73, available: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.036>.
- Veatch-Blohm, M.E., Malinowski, M., and Keefer, D. (2012b) 'Leaf water status, osmotic adjustment and carbon assimilation in colored calla lilies in response to saline irrigation', *Scientia Horticulturae*, 144, 65–73, available: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.036>.

- Villar, I., Alves, D., and Mato, S. (2017) 'Product quality and microbial dynamics during vermicomposting and maturation of compost from pig manure', *Waste Management*, 69, 498–507, available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.031>.
- Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., David, M.B., Drinkwater, L.E., Holland, E., Johnes, P.J., Katzenberger, J., Martinelli, L.A., Matson, P.A., Nziguheba, G., Ojima, D., Palm, C.A., Robertson, G.P., Sanchez, P.A., Townsend, A.R., and Zhang, F.S. (2009) 'Nutrient Imbalances in Agricultural Development', *Science*, 324(5934), 1519–1520, available: <https://doi.org/10.1126/science.1170261>.
- Vodounnou, D.S.J. V., Kpogue, D.N.S., Tossavi, C.E., Mennsah, G.A., and Fiogbe, E.D. (2016) 'Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia fetida*) during vermiculture', *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 87–92, available: <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0119-5>.
- Vyas, P., Sharma, S., and Gupta, J. (2022) 'Vermicomposting with microbial amendment: Implications for bioremediation of industrial and agricultural waste', *BioTechnologia*, 103(2), 203–215, available: <https://doi.org/10.5114/bta.2022.116213>.
- Walkley, A. and Black, I.A. (1934) 'AN EXAMINATION OF THE DEGTJAREFF METHOD FOR DETERMINING SOIL ORGANIC MATTER, AND A PROPOSED MODIFICATION OF THE CHROMIC ACID TITRATION METHOD', *Soil Science*, 37(1), 29–38, available: <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>.
- Wang, X.X., Zhao, F., Zhang, G., Zhang, Y., and Yang, L. (2017) 'Vermicompost improves tomato yield and quality and the biochemical properties of soils with different tomato planting history in a greenhouse study', *Frontiers in Plant Science*, 8, available: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01978>.
- Wang, Z., Li, S., and Malhi, S. (2008) 'Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(1), 7–23, available: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3084>.
- Ward, M.H., deKok, T.M., Levallois, P., Brender, J., Gulis, G., Nolan, B.T., and VanDerslice, J. (2005) 'Workgroup Report: Drinking-Water Nitrate and Health—Recent Findings and Research Needs', *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1607–1614, available: <https://doi.org/10.1289/ehp.8043>.

- Weinmann, M., Bradáčová, K., and Nikolic, M. (2023) 'Relationship between mineral nutrition, plant diseases, and pests', in *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*, Elsevier, 445–476, available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00009-5>.
- Xu, C. and Mou, B. (2016) 'Vermicompost Affects Soil Properties and Spinach Growth, Physiology, and Nutritional Value', *HortScience*, 51(7), 847–855, available: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.7.847>.
- Yu, D., Kotilainen, M., Pöllänen, E., Mehto, M., Elomaa, P., Helariutta, Y., Albert, V.A., and Teeri, T.H. (1999) 'Organ identity genes and modified patterns of flower development in *Gerbera hybrida* (Asteraceae)', *The Plant Journal*, 17(1), 51–62, available: <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1999.00351.x>.
- Zhao, Y., Islam, S., Alhabbar, Z., Zhang, J., O'Hara, G., Anwar, M., and Ma, W. (2023) 'Current Progress and Future Prospect of Wheat Genetics Research towards an Enhanced Nitrogen Use Efficiency', *Plants*, 12(9), 1753, available: <https://doi.org/10.3390/plants12091753>.
- Zhou, Y., Li, H., Guo, W., Liu, H., and Cai, M. (2022) 'The synergistic effect between biofertility properties and biological activities in vermicomposting: A comparable study of pig manure', *Journal of Environmental Management*, 324, 116280, available: <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116280>.