



EFECTO DEL TIPO DE LIXIVIADO DE LOMBRICOMPOSTA SOBRE EL CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE MAÍZ †

[EFFECT OF VERMICOMPOST LEACHATE TYPE ON CORN GROWTH, YIELD AND QUALITY]

Juana C. García-Santiago¹, Miriam Sánchez-Vega²,
Hermes Pérez-Hernández³ and Alonso Méndez-López^{1*}

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Botánica. Calzada Antonio Narro #1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

C.P.25315. Email: juanacruz.garsa@gmail.com, alonso1977@gmail.com

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro #1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P.25315. Email: mirisanve@gmail.com

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Edzná, Campeche, México. C.P. 24520. Email: hermesph@hotmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Vermicompost leachate enhances soil quality and promotes sustainable agricultural production. However, the characteristics and effects of vermicompost leachate on crops depend on the type of waste and the proportion in which the materials are mixed during their preparation. **Objective.** To evaluate the effect of different types of vermicompost leachate on the morphological parameters, yield, and fruit quality of corn (hybrid AN-447). **Methodology.** Eighteen vermicompost leachates were evaluated, obtained from vermicomposting various mixtures of three types of manure (bovine [V], equine [E], and goat [C]), two plant residues (vegetables [H] and corn stover [R]), and three manure-to-plant residue ratios (50:50, 60:40, and 70:30%, v:v), along with one commercial vermicompost leachate (LC), and a control. A randomized complete block design with four replications was used. Leachates were drench-applied at 10% every 15 days starting from corn emergence. **Results.** The results showed that the leachates had a significant effect on morphological parameters and ear characteristics, though they were not statistically superior to the control. On the other hand, corn grain yield varied according to the type of vermicompost leachate applied, with most leachates showing a notable increase in yield, on average 61% higher than the control. Additionally, total soluble solids, titratable acidity, vitamin C content, and fruit firmness fluctuated depending on the leachate type; however, only total soluble solids and titratable acidity were improved with the application of leachates E70-H30 and C60-R40. **Implications.** The study suggests that careful selection of both the type of leachate and the proportion of waste materials used in its production is essential to maximize its benefits in agricultural production. **Conclusion.** The type of vermicompost leachate applied to corn crops affects morphological traits, yield, and fruit quality in different ways.

Key words: *Zea mays*; agroecology; organic fertilization; vermicomposting; waste.

RESUMEN

Antecedentes. El lixiviado de lombricomposta permite mejorar el suelo y optimizar la producción agrícola de manera sostenible. Sin embargo, las características y el efecto del lixiviado de lombricomposta sobre el cultivo dependerán del tipo de residuo y proporción en que éstos se mezclen durante su elaboración. **Objetivo.** Evaluar el efecto del tipo de lixiviado de lombricomposta sobre los parámetros morfológicos, de rendimiento y calidad de fruto del cultivo de maíz (hibrido AN-447). **Metodología.** Se evaluaron 18 lixiviados de lombricomposta que resultaron del lombricompostaje de diferentes mezclas obtenidas de tres tipos de estiércol (vacuno [V], equino [E] y caprino [C]), dos residuos vegetales (hortalizas [H] y rastrojo de maíz [R]) y tres proporciones de estiércol:residuo vegetal (50:50, 60:40 y 70:30%, v:v), un lixiviado de lombricomposta comercial (LC), y un control. Se empleó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los lixiviados se aplicaron vía drench al 10%, cada 15 días desde la emergencia del maíz. **Resultados.** Los resultados mostraron que los lixiviados influyeron significativamente en los parámetros morfológicos y características de la mazorca de maíz, pero no superaron estadísticamente al control. Por otro lado, el rendimiento de grano de maíz varió según el tipo

† Submitted October 18, 2024 – Accepted June 19, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5929>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = J.C. García-Santiago: <http://orcid.org/0000-0002-4246-8782>; M. Sánchez-Vega: <http://orcid.org/0000-0001-9866-9244>; H. Pérez-Hernández: <http://orcid.org/0000-0002-5883-066X>; A. Méndez-López: <http://orcid.org/0000-0002-4356-0409>

de lixiviado de lombricomposta aplicado, observando que la mejora del rendimiento de maíz fue notable en la mayoría de los lixiviados, superando en promedio el control en un 61%. Así mismo, el contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable, vitamina C y firmeza del fruto fluctuó según el tipo de lixiviado; sin embargo, únicamente el contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable fueron mejorados al aplicar los lixiviados E70-H30 y C60-R40. **Implicaciones.** El estudio sugiere realizar una selección cuidadosa del tipo de lixiviado y proporción de los residuos para obtener los lixiviados de lombricomposta, y así maximizar sus beneficios en la producción agrícola. **Conclusión.** El tipo de lixiviado aplicado al cultivo de maíz influye de manera diferente en la respuesta de los parámetros morfológicos, de rendimiento y calidad de fruto.

Palabras claves: *Zea mays*; agroecología; fertilización orgánica; lombricompostaje; residuo.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales alimentarios y forrajeros más importantes del mundo, con una producción total que supera al trigo y al arroz (Sattar *et al.*, 2020). En muchas partes del mundo este cultivo se utiliza en la dieta diaria tanto para personas y animales, así como materia prima en la industria (Khaliq *et al.*, 2004). En México, centro de origen y diversificación del maíz, es el cultivo básico más importante, por lo que los impactos negativos en su rendimiento podrían tener consecuencias significativas para la seguridad alimentaria del país (Kato *et al.*, 2009; Ureta *et al.*, 2020). El crecimiento y la productividad del maíz se ve afectado negativamente por la baja fertilidad del suelo (León-Anzueto *et al.*, 2011). Los fertilizantes inorgánicos son importantes para aportar nutrientes al suelo, los cuales se aplican en grandes cantidades como práctica para mejorar la producción y calidad de los cultivos (Wu *et al.*, 2023); no obstante, la aplicación de grandes cantidades de agroquímicos disminuye la fertilidad del suelo (Benti *et al.*, 2021).

Los fertilizantes orgánicos representan una alternativa para suministrar nutrientes minerales a los cultivos sin dañar al medio ambiente (Khayat, 2019). Entre los fertilizantes orgánicos, el lixiviado de lombricomposta representa una alternativa para aportar nutrientes a las plantas, disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos y recuperar la fertilidad del suelo (Chaoui *et al.*, 2003; Quaik *et al.*, 2012). El lixiviado de lombricomposta es un líquido orgánico-mineral derivado del proceso de lombricompostaje de desechos orgánicos (Chinsamy *et al.*, 2013). Durante el proceso de lombricompostaje se realizan riegos continuos, con lo que se provoca el lixiviado de compuestos liberados, mineralizados o humificados por la actividad de microorganismos y lombrices durante la biodegradación de los residuos, dicho líquido recolectado se le conoce como lixiviado de lombricomposta (Ávila-Juárez *et al.*, 2015; Dube *et al.*, 2018). El lixiviado de lombricomposta, una vez recolectado, se puede utilizar como fertilizante líquido y como bioestimulante, ya que contiene alta concentración de nutrientes, ácidos húmicos, aminoácidos, vitaminas, reguladores de crecimiento y enzimas (Tejada *et al.*, 2008; Quaik *et al.*, 2012; Bidabadi, 2018). Además, se ha señalado que este

insumo orgánico proporciona la ventaja de la homogeneidad cuando se aplica al medio de crecimiento en comparación con la aplicación de fertilizante orgánicos sólidos (Quaik *et al.*, 2012).

En diversas investigaciones en las que se ha evaluado el efecto estimulante del lixiviado de lombricomposta, se indica que éste promueve el desarrollo de cultivos como frijol (Singh and Chauhan, 2009), maíz (García *et al.*, 2008), pimiento (Torres *et al.*, 2019, 2024), caña de azúcar (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2017), entre otros. Sin embargo, se ha señalado que el efecto de los lixiviados de lombricomposta sobre las plantas dependerá principalmente de su origen (Makkar *et al.*, 2017), ya que las características químicas de la lombricomposta final, y por lo tanto del lixiviado, dependerá de las características iniciales de los residuos orgánicos a lombricompostar (A'ali *et al.*, 2017; Gusain and Suthar, 2020). Tomando en cuenta la información anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tipo de lixiviado de lombricomposta sobre los parámetros morfológicos, rendimiento y calidad de fruto del cultivo de maíz híbrido AN-447 en condiciones de campo abierto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio fue conducido en campo abierto durante los meses de mayo a agosto de 2023, en instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, ubicado a 25° 27' N, 101° 02' O y altitud de 1750 msnm, con una temperatura media anual de 19,8°C (media anual máxima y mínima de 30°C y 11°C, respectivamente), precipitación media anual de 360 mm, y clima (BWhw)(x')(e) muy seco y semicálido (García, 2004).

Diseño experimental

Se evaluaron 18 lixiviados recolectados del lombricompostaje de tres tipos de estiércol (vacuno [V], equino [E] y caprino [C]), dos residuos vegetales (hortalizas [H] y rastrojo de maíz [R]) y tres proporciones de estiércol:residuo vegetal (50:50, 60:40 y 70:30%, v:v), un lixiviado de lombricomposta comercial (LC), y un control (sin lixiviado). El experimento se estableció bajo un

diseño de bloques completos al azar, con un total de 20 tratamientos y cuatro repeticiones de cada uno. La unidad experimental consistió de ocho plantas y la parcela útil de cuatro plantas centrales.

Obtención y caracterización de los lixiviados de lombricomposta

El estiércol y los residuos vegetales empleados en el lombricompostaje se recolectaron en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El residuo de hortalizas se compuso de residuo fresco de cilantro (35%), lechuga (35%), rábano (15%), brócoli (10%) y acelga (5%). El lombricompostaje se realizó en camas (2 m x 1 m) hechas de plástico negro colocadas a nivel de suelo con una pendiente del 2%. Cada mezcla obtenida de los diferentes residuos y proporciones (18 mezclas en total) se sometió a un periodo de pre-acondicionamiento por 10 semanas. Posterior a este tiempo, en cada cama de lombricompostaje se colocó un volumen de 280 L de material pre-acondicionado y se agregó 500 g de lombriz *Eisenia fetida*. Se establecieron tres repeticiones por mezcla y se consideró una cama de lombricompostaje como unidad experimental. Durante el proceso de lombricompostaje, se removieron las mezclas cada 15 días y se regó una a dos veces por semana, tratando de mantener una humedad entre 60-70%. El proceso de lombricompostaje tuvo una duración de 90 días. La recolección de los lixiviados de lombricomposta se inició a los 30 días de haber iniciado el lombricompostaje hasta terminar el proceso. Al finalizar el proceso de lombricompostaje y recolección del lixiviado se procedió a determinar las propiedades químicas de cada lixiviado con ayuda de ionómetros portátiles (LAQUA Twin,

Horiba Ltd., Kyoto, Japan). Los ionómetros se calibraron a dos puntos con la solución estándar correspondiente. Se tomaron tres muestras de cada lixiviado concentrado para determinar pH, CE, NO_3^- , K, Na y Ca. Se colocó 0.5 ml de muestra en el sensor. Cuando los ionómetros indicaron error de rango (medición fuera del rango de medición del sensor) se realizó una dilución de la muestra con agua desionizada (1:2%, v/v) para poder medir el valor del parámetro químico. En las muestras en las que se realizó una dilución se utilizó la fórmula de dilución $C_1V_1=C_2V_2$ para calcular en valor de los parámetros químicos en el lixiviado concentrado. Las características químicas de los lixiviados obtenidos del lombricompostaje de las diferentes mezclas de residuos, así como del lixiviado comercial se presentan en la Tabla 1.

Establecimiento del cultivo y técnicas de aplicación de los tratamientos

Se utilizó semillas de maíz híbrido AN-447, las cuales fueron proporcionadas por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La siembra del maíz fue directa al suelo, colocando dos semillas por punto de siembra. La distancia entre surcos fue de 0.8 m y entre punto de siembra de 0.25 m, con una densidad de siembra de 100,000 plantas/ha. A todos los tratamientos se les aplicó el 50% de la fertilización inorgánica recomendada para el cultivo en la región (120N-60P-00K) por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (INIFAP, 2017), suministrado mediante fosfato monoamónico (12-60-00) y fosfonitrato (31-04-00). El fosfato monoamónico se aplicó al momento de la siembra y el fosfonitrato a los 50 días después de la siembra (dds). Los lixiviados

Tabla 1. Características químicas de los lixiviados de lombricomposta utilizados.

Descripción de los lixiviados			Identificación del lixiviado	pH	CE (mS/cm)	NO_3^-	K	Na	Ca
Estiércol	Residuo Vegetal	Proporción							
Vacuno	Hortalizas	50:50	V50-H50	8.9	12.8	2100	2300	20400	13.7
Vacuno	Hortalizas	60:40	V60-H40	8.9	12.9	1950	2250	20700	30.7
Vacuno	Hortalizas	70:30	V70-H30	8.8	7.6	1600	1200	7200	30.7
Vacuno	Rastrojo	50:50	V50-R50	8.5	3.7	980	485	4450	33.3
Vacuno	Rastrojo	60:40	V60-R40	8.6	12.7	1650	2000	18150	14.7
Vacuno	Rastrojo	70:30	V70-R30	8.8	8.4	1600	1250	7150	10.3
Equino	Hortalizas	50:50	E50-H50	8.9	6.4	1650	990	4700	26.0
Equino	Hortalizas	60:40	E60-H40	8.7	4.3	1100	535	6400	16.7
Equino	Hortalizas	70:30	E70-H30	8.8	7.5	1600	1200	7250	20.0
Equino	Rastrojo	50:50	E50-R50	8.7	3.9	1350	550	6050	40.3
Equino	Rastrojo	60:40	E60-R40	8.5	4.7	1100	620	5850	45.3
Equino	Rastrojo	70:30	E70-R30	8.7	4.0	1150	470	5550	18.7
Caprino	Hortalizas	50:50	C50-H50	8.9	7.8	1800	1250	5650	12.3
Caprino	Hortalizas	60:40	C60-H40	8.8	8.9	1350	1400	7300	24.0
Caprino	Hortalizas	70:30	C70-H30	8.9	7.7	1700	1200	5500	32.0
Caprino	Rastrojo	50:50	C50-R50	8.8	7.9	1650	1400	7000	19.7
Caprino	Rastrojo	60:40	C60-R40	8.5	7.6	1150	1200	5250	20.0
Caprino	Rastrojo	70:30	C70-R30	8.9	8.6	1650	1550	5600	12.7
Lixiviado comercial			LC	9.2	23.3	6770	34300	2277	17100

de lombricomposta se aplicaron vía drench a una concentración del 10%, aplicando 100 mL de la solución por planta. Las aplicaciones de los lixiviados de lombricomposta se iniciaron a los 30 dds, con aplicaciones cada 15 días. El sistema de riego utilizado fue por goteo, para lo cual se empleó una cinta de riego (calibre 6000) con emisores cada 30 cm y un gasto de 3.4 L/h por metro lineal.

Medición de los parámetros morfológicos

Al finalizar el ciclo del cultivo (125 dds), se determinaron los parámetros de crecimiento vegetal, para lo cual se evaluaron cuatro plantas de maíz por repetición, en las cuales se midió: número de hojas, altura de planta, peso fresco y seco de follaje y tallo. Para la determinación del peso seco, las muestras fueron colocadas en horno de secado (Thermo Scientific, modelo OGS180, Waltham, MA, USA) a una temperatura de 65°C durante 72 h para posteriormente registrar el peso de la materia seca de cada órgano con una balanza analítica.

Medición de las características de la mazorca y rendimiento de grano

Se tomaron muestras de cuatro plantas por repetición para medir diámetro de mazorca, peso de mazorca, número de hileras y rendimiento de grano. El diámetro de mazorca se determinó midiendo el diámetro de la parte central de cada mazorca con ayuda de un vernier digital (Mitutoyo, modelo 500-173CAL). El peso de mazorca se determinó pesando cada mazorca cosechada con una balanza analítica (Rhino, modelo BAPRE-3). El número de hilera se determinó contando las hileras de la parte central de la mazorca. Para determinar el rendimiento de grano se procedió a desgranar de forma manual cada una de las mazorcas, posteriormente se pesó el grano de cada una de las mazorcas con una balanza analítica (Rhino, modelo BAPRE-3).

Determinación de la calidad del fruto

Las determinaciones de calidad de fruto se hicieron en la etapa de elotes del híbrido AN-447, realizando esta determinación a los 90 dds. Se determinó la cantidad de sólidos solubles totales, vitamina C, acidez titulable y firmeza, para lo cual se evaluaron cuatro plantas por repetición. El contenido de sólidos solubles totales se midió en °Bx colocando una gota de jugo fresco de grano de elote en el prisma de un refractómetro digital (ATAGO®, USA Inc., Bellevue, WA, USA). El contenido de vitamina C se determinó por el método de titulación con 2,6-diclorofenolindofenol (Padayatty *et al.*, 2001). La acidez titulable se determinó de acuerdo al método de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC) (AOAC, 2000). La firmeza se determinó en tres puntos del fruto utilizando un

penetrómetro digital (PCE-PTR 200, PCE Americas Inc., Jupiter, FL, USA), equipado con una punta convexa de 8 mm de diámetro.

Análisis de datos

Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad para cada variable usando los tests de Kolmogorov Smirnov y Levene, respectivamente. No fue necesario transformar los datos. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), cuando se observaron diferencias estadísticas se aplicó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), y para determinar la relación entre variables y tratamientos se complementó con un Análisis de Componentes Principales (PCA) y un Análisis Discriminante (AD). Para el análisis de datos se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis Systems), version 9.2., y para el PCA y AD se utilizó el programa Past Verisón 5.0. Para la elaboración de la figura se utilizó el programa gráfico SigmaPlot 14.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros morfológicos

Los tratamientos evaluados mostraron efectos significativos en los parámetros morfológicos del maíz; sin embargo, ninguno de los lixiviados de lombricomposta superó estadísticamente los valores conseguidos en el tratamiento control, específicamente en las variables número de hoja, altura de planta, peso fresco de hoja, peso fresco de tallo, peso seco de hoja y peso seco de tallo (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Torres *et al.* (2024), quienes indicaron que al utilizar lixiviado de lombricomposta para cultivar maíz y pimienta no observaron una mejora en el crecimiento de estos cultivos.

A pesar de que no se observaron valores estadísticamente superiores al control, el efecto de los lixiviados de lombricomposta sobre las variables morfológicas evaluadas en el maíz dependió del tipo de lixiviado. Este efecto también fue reportado por Torres *et al.* (2019) en el cultivo de pimienta. Esto se debe a que las características químicas del lixiviado recuperado, dependerá de las características químicas iniciales de los residuos a lombricompostar y proporciones en que estos se mezclen (A'ali *et al.*, 2017; Gómez-Brandón *et al.*, 2020), por lo que influyen de manera diferente sobre el desarrollo de los cultivos. Entre los lixiviados de lombricomposta evaluados, se apreció que el número de hojas fue mayor al aplicar el lixiviado V50-R50, el cual superó estadísticamente a los lixiviados V70-H30, V60-R40, E70-R30, C70-H30 y C70-R30, pero fue similar al resto de los lixiviados. Mientras que, la altura de planta

Tabla 2. Efecto del tipo de lixiviado de lombricomposta sobre los parámetros morfológicos del cultivo de maíz (híbrido AN-447) bajo sistema de riego, en condiciones de campo abierto.

Tratamientos	Número de hoja (hoja/planta)	Altura de planta (cm/planta)	Peso fresco de hoja	Peso fresco de tallo (g/planta)	Peso seco de hoja	Peso seco de tallo
V50-H50	15.00ab	274.67ab	172.33cdef	417.33b	63.00abcd	98.68ab
V60-H40	14.67abc	275.00ab	176.33cdef	421.00b	62.67abcd	69.68b
V70-H30	14.25bc	266.67ab	176.68cdef	395.33b	54.32cde	66.68b
V50-R50	15.67a	282.32a	190.68bcdef	400.00b	61.25abcd	69.00b
V60-R40	14.00bc	272.67ab	212.68abcde	466.00ab	54.67abcd	61.18b
V70-R30	15.00ab	269.67ab	116.00ef	385.68b	56.75abcd	60.68b
E50-H50	14.75ab	266.67ab	154.68f	420.68b	67.67abc	91.68ab
E60-H40	14.75ab	277.75ab	164.00def	348.00b	54.32bcd	72.00ab
E70-H30	14.50abc	280.00a	185.50bcdef	475.00ab	57.75abcd	112.00a
E50-R50	14.32abc	248.32bc	263.00a	663.00a	64.67abcd	99.68ab
E60-R40	14.32abc	285.67a	228.68abc	511.33ab	66.67abcd	88.43ab
E70-R30	13.67bc	281.67a	162.25ef	376.68b	48.25d	61.58b
C50-H50	14.67abc	276.67ab	235.33ab	620.00a	72.00ab	95.68ab
C60-H40	14.32abc	229.00c	227.68abc	541.00ab	73.67a	111.68a
C70-H30	13.32c	278.32ab	175.00cdef	380.00b	51.17cd	69.68b
C50-R50	14.32abc	277.00ab	220.00abcd	524.00ab	58.67abcd	82.00ab
C60-R40	14.32abc	287.32a	225.68abc	486.33ab	72.00ab	86.50ab
C70-R30	13.67bc	282.00a	206.33abcdef	503.00ab	62.02abcd	94.10ab
LC	14.75ab	275.25ab	196.00bcdef	512.68ab	51.32cd	68.33b
Control	15.00ab	296.32a	207.00abcdef	520.68ab	63.32abcd	84.00ab
ANOVA	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

obtenida con los lixiviados V50-R50, E70-H30, E60-R40, E70-R30, C60-R40 y C70-R30 superaron la altura de planta alcanzada con los lixiviados E50-R50 y C60-H40, pero fueron similar al resto de los lixiviados. El peso fresco de hoja de maíz fue mayor al aplicar el lixiviado E50-R50, el cual superó estadísticamente el valor obtenido con los lixiviados V50-H50, V60-H40, V70-H30, V50-R50, V70-R30, E50-H50, E60-H40, E70-H30, E70-R30, C70-H30 y LC, pero fue similar al resto de los tratamientos. En tanto que, el peso fresco de tallo de maíz fue superior al aplicar los lixiviados E50-R50 y C50-H50, superaron estadísticamente el valor obtenido por los lixiviados V50-H50, V60-H40, V70-H30, V50-R50, V70-R30, E50-H50, E60-H40, E70-R30 y C70-H30, pero fueron similar al resto de los tratamientos. En peso seco de hoja, el tratamiento C60-H40 superó a los lixiviados V70-H30, E60-H40, E70-R30, C70-H30 y LC, pero fue similar al resto de los lixiviados evaluados. El peso seco de tallo fue mayor al aplicar los lixiviados E70-H30 y C60-H40, los cuales superaron a los lixiviados V60-H40, V70-H30, V50-R50, V60-R40, V70-R30, E70-R30, C70-H30 y LC, pero fueron similar al resto de los tratamientos. La mejora del crecimiento vegetal al aplicar lixiviado de lombricomposta se ha atribuido a sus características bioquímicas, que incluyen elementos minerales, sustancias húmicas y reguladores de crecimiento vegetal (citoquininas, ácido indol-3-acético, giberelinas y brasinoesteroides) (Singh *et*

al., 2010; Zandonadi and Busato, 2012; Aremu *et al.*, 2015; García-Santiago *et al.*, 2024). Por su parte, Aremu *et al.* (2015) resaltan que los efectos beneficiosos del lixiviado de lombricomposta no pueden atribuirse a un aumento en el suministro de nutrientes, más bien, el efecto positivo de éstos sobre el desarrollo de la planta se debe principalmente a la disponibilidad de reguladores de crecimiento vegetal y ácidos húmicos.

Características de mazorca y rendimiento de grano

Los tratamientos aplicados al maíz presentaron efectos significativos ($p < 0.05$) en el número de hileras, peso de mazorca y diámetro de mazorca (Tabla 3). Sin embargo, estos parámetros no fueron mejorados al aplicar los lixiviados, ya que no se superó el tratamiento control. No obstante, se observó un comportamiento diferente en las características de la mazorca según el tipo de lixiviado evaluado, donde los lixiviados V60-R40 y C60-H40 superaron el número de hileras obtenido por los lixiviados V60-H40, E50-H50, E70-H30, E50-R50, C70-H30, C50-R50 y C60-R40; mientras que, el lixiviado C50-R50 superó el peso de mazorca obtenido por los lixiviados E60-H40 y E70-R30; en tanto que, el lixiviado C70-R30 superó el diámetro de mazorca obtenido por los lixiviados V70-R30, E70-R30 y C60-H40.

Tabla 3. Efecto del tipo de lixiviado de lombricomposta sobre el número de hileras, peso de mazorca y diámetro de mazorca del cultivo de maíz (híbrido AN-447) bajo riego, en condiciones de campo abierto.

Tratamientos	Número de hileras (hileras/mazorca)	Peso de mazorca (g/mazorca)	Diámetro de mazorca (mm)
V50-H50	16.00ab	225.33ab	58.0abc
V60-H40	14.67ab	201.88abc	60.25abc
V70-H30	16.66a	188.00abc	57.57abc
V50-R50	14.00b	233.67ab	59.17abc
V60-R40	14.67ab	208.00abc	58.95abc
V70-R30	15.00ab	201.00abc	56.00bc
E50-H50	14.00b	219.00abc	56.52abc
E60-H40	14.00b	183.88bc	59.37abc
E70-H30	15.00ab	224.00ab	61.00abc
E50-R50	15.33ab	206.00abc	57.10abc
E60-R40	14.00b	229.25ab	59.75abc
E70-R30	15.00ab	156.67c	54.67c
C50-H50	15.50ab	231.67ab	62.00abc
C60-H40	14.00b	235.00ab	56.00bc
C70-H30	14.00b	211.33abc	57.32abc
C50-R50	16.66a	252.00a	64.00ab
C60-R40	14.00b	210.00abc	62.25abc
C70-R30	14.66ab	234.00ab	64.32a
LC	14.50ab	216.33abc	60.32abc
Control	14.66ab	223.67ab	59.00abc
ANOVA	0.001	0.001	0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

Los lixiviados de lombricomposta generaron efectos significativos en el rendimiento de grano de maíz (Figura 1), donde se aprecia que el rendimiento, a excepción de los lixiviados V50-R50 y C60-H40, fue mejorado por los lixiviados de lombricomposta evaluados, superando en promedio al tratamiento control por un 61%. La mejora del rendimiento de grano al aplicar los lixiviados de lombricomposta en combinación con el 50% de la

fertilización inorgánica recomendada para el cultivo de maíz puede estar relacionado con lo indicado por Jabeen y Ahmad (2017), quienes señalaron que la nutrición orgánica, junto con los fertilizantes inorgánicos, mejora la utilidad de los elementos de baja energía y su absorción por las plantas en comparación con el uso exclusivo de fertilizantes inorgánicos.

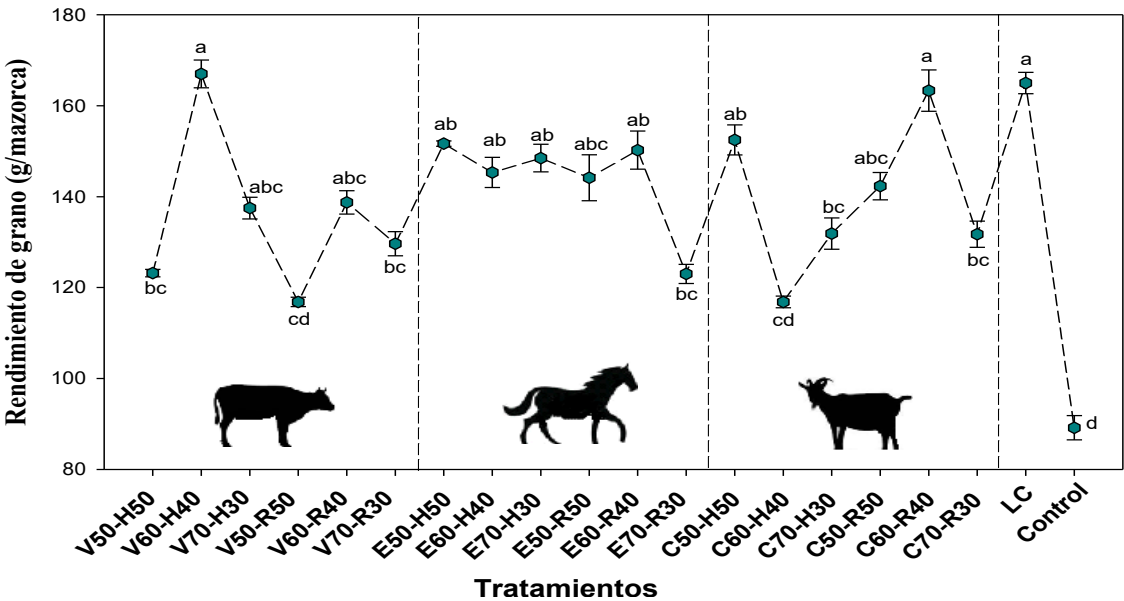


Figura 1. Efecto del tipo de lixiviados de lombricomposta sobre el rendimiento de grano del cultivo de maíz híbrido AN-447 bajo sistema de riego, en condiciones de campo abierto. Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. Las barras representan el error estándar de la media ($n = 4$).

Además, dentro de todos los lixiviados evaluados se observó que el rendimiento de grano obtenido en plantas de maíz tratadas con los lixiviados de lombricomposta elaborados para este experimento no superó al rendimiento de grano alcanzado por plantas tratadas con el lixiviado comercial (LC); no obstante, los lixiviados V60-H40 (167 g/mazorca) y C60-R40 (163.3 g/mazorca) igualaron estadísticamente el rendimiento de grano obtenido por el lixiviado LC (165 g/mazorca). En concordancia con la respuesta obtenida en el rendimiento del cultivo de maíz, Torres *et al.* (2019) evaluaron el efecto del tipo de lixiviado sobre el rendimiento del cultivo de pimiento, quienes reportaron que el rendimiento dependerá de las dosis y fuentes de los lixiviados. Se ha señalado que el híbrido AN-447 es de alto rendimiento (de 8 a 10 t/ha) cuando se siembra en condiciones favorables (Musito-Ramírez *et al.*, 2004). Tomando en cuenta la densidad de plantación utilizada en el experimento (100,000 plantas/ha), con el rendimiento de grano por mazorca obtenido con los lixiviados V60-H40, C60-R40 y LC (167, 163.3 y 165 g/mazorca, respectivamente), el rendimiento por hectárea sería de 16.7, 16.3 y 16.5 t/ha, respectivamente, superando el rendimiento señalado para el híbrido evaluado y el rendimiento promedio de los últimos 10 años de maíz blanco bajo riego en México (8.43 t/ha) y el Estado de Coahuila (3.62 t/ha) (Musito-Ramírez *et al.*, 2004; SIAP, 2024).

Calidad del fruto o elote

Actualmente existe un número limitado de investigaciones que han evaluado el efecto de los

lixiviados de lombricomposta sobre la calidad de frutos (Singh *et al.*, 2010; Ávila-Juárez *et al.*, 2015; El-Hameid and Adel, 2018; Čabilovski *et al.*, 2023). En este trabajo, los tratamientos manifestaron efectos significativos ($p < 0.05$) en los parámetros de calidad de elote del maíz híbrido AN-447 (Tabla 4). Se observó que al aplicar el lixiviado E70-H30 el contenido de sólidos solubles totales en el fruto fue 19.0% superior que el obtenido con el tratamiento control, incluso, éste lixiviado superó por un 17.3% el contenido de sólidos solubles totales alcanzados con el lixiviado LC. Así mismo, al aplicar el lixiviado C60-R40 la acidez titulable en el fruto fue 10.5% mayor que la obtenida con el tratamiento control, en tanto que, la acidez titulable obtenida al aplicar el lixiviado LC fue superado por los lixiviados E70-H30, E70-R30, C50-H50, C60-H40, C60-R40 y el tratamiento control por un 11.1, 12.5, 11.1, 15.1, 22.5 y 10.8%, respectivamente. El aumento de sólidos solubles totales en frutos de plantas tratadas con lixiviado de lombricomposta es atribuido a la mayor concentración salina en el medio, provocando la acumulación de solutos orgánicos como azúcares simples en los frutos (Goykovic and Saavedra del Real, 2007; Wu and Kubota, 2008). En este trabajo, la presencia de una mayor cantidad de iones en el medio de crecimiento como consecuencia de la aplicación del lixiviado de lombricomposta con mayor contenido de nutrientes, como lo fue el lixiviado LC que presentó mayor CE y contenido de NO_3^- , K y Ca, no pudo ser el responsable del comportamiento del contenido de sólidos solubles totales en los granos de elote, ya que el lixiviado LC no presentó el mayor contenido de sólidos solubles totales.

Tabla 4. Efecto del tipo de lixiviado de lombricomposta sobre la calidad de elote del híbrido AN-447 bajo sistema de riego, en condiciones de campo abierto.

Tratamientos	Sólidos solubles totales (°Bx)	Acidez titulable (% AC)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ PF)	Firmeza (Newton)
V50-H50	9.00cd	0.286ef	9.00ghi	8.90d
V60-H40	10.66bc	0.272efg	10.60defgh	10.02cd
V70-H30	7.83de	0.286ef	8.70hi	10.25cd
V50-R50	6.70ef	0.288e	9.57fgh	8.45d
V60-R40	9.00cd	0.260g	9.77efgh	11.60cd
V70-R30	8.13de	0.216h	10.22defgh	13.87bcd
E50-H50	5.80f	0.276efg	10.67defg	18.17b
E60-H40	6.96ef	0.229h	7.40i	14.05bcd
E70-H30	12.50a	0.390b	11.37def	11.90cd
E50-R50	7.20ef	0.267efg	9.22ghi	14.20bcd
E60-R40	7.13ef	0.262fg	10.00defgh	29.65a
E70-R30	11.16ab	0.395b	13.67bc	10.42cd
C50-H50	11.66ab	0.390b	8.92ghi	11.82cd
C60-H40	12.16ab	0.404b	11.77cd	12.92bcd
C70-H30	11.16ab	0.364cd	13.82ab	11.17cd
C50-R50	11.16ab	0.345d	10.17defgh	15.52bc
C60-R40	11.16ab	0.430a	10.52defgh	12.77bcd
C70-R30	11.23ab	0.339d	11.52de	33.10a
LC	10.66bc	0.351d	15.67a	31.82a
Control	10.50bc	0.389bc	14.92ab	28.92a
ANOVA	0.001	0.001	0.001	0.001

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$). AC= ácido cítrico. PF= peso fresco.

El contenido de vitamina C y firmeza de fruto no fueron mejorados por la adición de los lixiviados de lombricomposta, ya que no se superaron los valores obtenidos de estos parámetros de calidad por el control (Tabla 4). Sin embargo, entre los lixiviados de lombricomposta evaluados se observó que el efecto de éstos sobre el contenido de vitamina C y firmeza dependió del tipo de lixiviado, observando que a excepción de los tratamientos E70-R30, C70-H30 y LC, los lixiviados provocaron una reducción del contenido de vitamina C en los frutos respecto al tratamiento control; mientras que, a excepción de los lixiviados E60-R40, C70-R30 y LC, los lixiviados de lombricomposta redujeron la firmeza de los granos de elote. En contraste, Singh *et al.* (2010) indicaron que la aplicación de lixiviados de lombricomposta a plantas de fresa les permitió obtener frutos más firmes con mejor contenido de sólidos solubles totales y ácido ascórbico.

Análisis de componentes principales y análisis discriminante

Con el objetivo de verificar la correlación de los diferentes tratamientos y los parámetros morfológicos, el rendimiento y calidad de fruto en plantas de maíz, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual permitió identificar dos componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 67.75% de la variabilidad total. El PC1 demostró el mayor porcentaje de varianza con 58.59%, mientras que el PC2 exhibió un porcentaje menor de 9.16% (Figura 2). El CP1 estuvo relacionado positivamente con el peso fresco del tallo (PFT), peso fresco de hojas (PFH), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH) y el peso de la mazorca (PM) (0.86, 0.81, 0.71, 0.66 y 0.67, respectivamente) e indicó que la producción

de biomasa de las plantas de maíz se ve favorecida por los tratamientos C50-H50, C60-H40, C60-R40 y E60-R40. Mientras que, el PC2 con una asociación positiva con la acidez titulable (AT), los sólidos solubles totales (SST) y la vitamina C (VC) (0.68, 0.67, y 0.82, respectivamente) manifestó correlación con los tratamientos C60-R40, E70-H30 y E60-R40.

Para simplificar la explicación sobre la efectividad de las mezclas de lixiviados en relación con las variables evaluadas, se llevó a cabo un análisis discriminante. Esto se reflejó en la agrupación de los datos en el biplot (Figura 3). Los tratamientos situados en el lado derecho del gráfico, correspondientes a los lixiviados recolectados del lombricompostaje de estiércol caprino con residuos de hortalizas y con rastrojo en sus diferentes proporciones, mostraron una mayor afinidad con las variables evaluadas. En cambio, los lixiviados obtenidos del lombricompostaje de estiércol vacuno se posicionaron en el lado izquierdo del primer componente, lo que indica una relación negativa con las variables de respuesta (Figura 3). Así mismo, se observó que el lixiviado comercial y control se ubicaron al lado derecho y muy alejado del resto de los tratamientos, lo que sugiere un efecto mínimo en la mayoría de las variables de calidad y rendimiento del grano. Se destaca que los lixiviados derivados del estiércol caprino presentan una mayor estabilidad en comparación con los lixiviados derivados de estiércol vacuno, equino, LC y el tratamiento control. Al respecto, en otras investigaciones se ha demostrado que el lixiviado generado por la mezcla de estiércol caprino y residuos vegetales mejora tanto el tamaño de los frutos como el rendimiento de cultivos como maíz, cacahuate, algodón y acelga (Torres *et al.*, 2024).

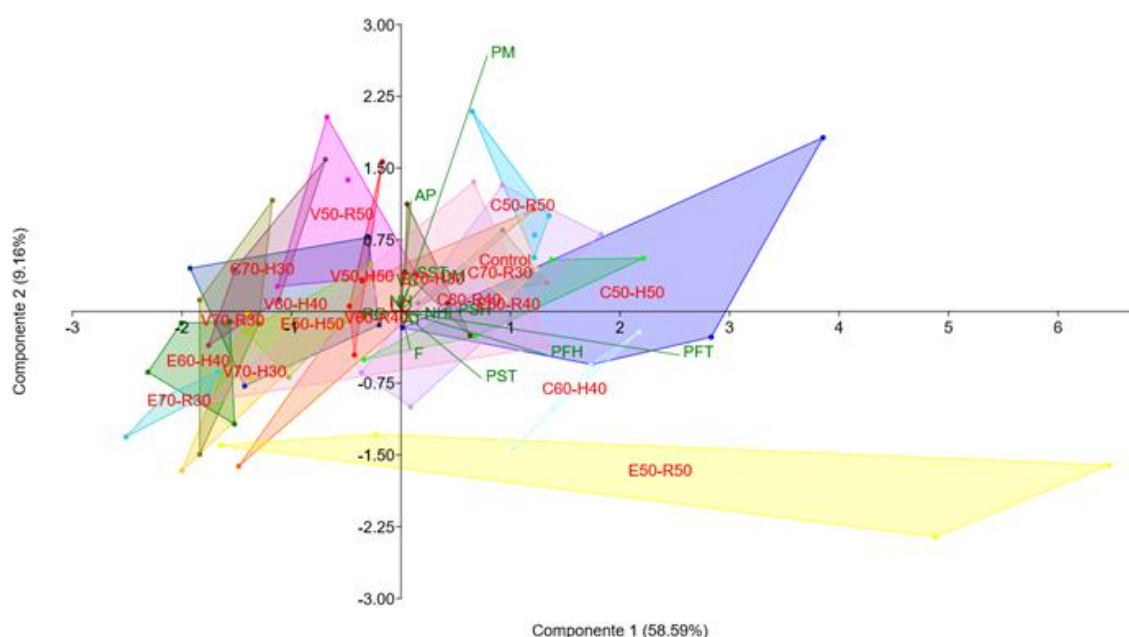


Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) para las variables morfológicas, de rendimiento y calidad en el cultivo de maíz en diferentes combinaciones de lixiviados.

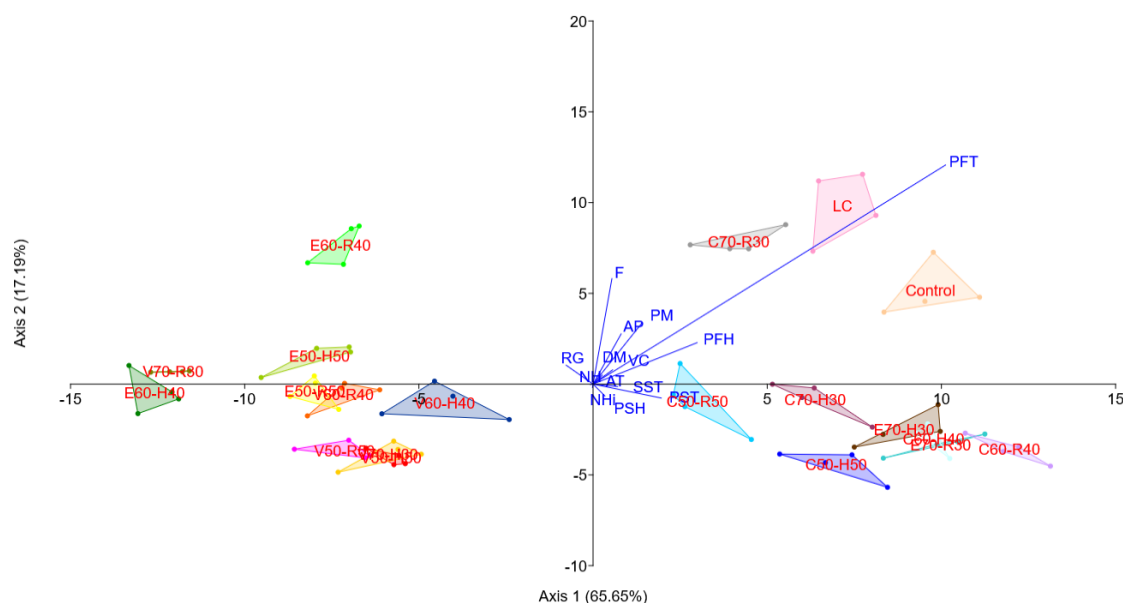


Figura 3. Análisis discriminante que resume la relación en común entre los tratamientos sobre el efecto en las variables morfológicas, de rendimiento y calidad en el cultivo de maíz.

CONCLUSIONES

El tipo de lixiviado influye de manera diferente en el desarrollo del cultivo de maíz, pero no todos generan efectos favorables, ya que los lixiviados influyeron significativamente en los parámetros morfológicos, características de mazorca, vitamina C y firmeza de fruto, pero no lograron superar los valores observados en el control. Los lixiviados de lombricomposta mejoraron el rendimiento de grano de maíz, sin embargo, este presentó variabilidad según el tipo de lixiviado, y no superaron al LC; en tanto que, el contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable fueron mejorados al aplicar los lixiviados E70-H30 y C60-R40. Por lo que, se requiere seguir evaluando lixiviados específicos para potenciar tanto la cantidad como la calidad del cultivo de maíz, para contribuir así a la implementación de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

Funding. No funding was received to assist with the preparation of this manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no competing interests.

Compliance with ethical standards. The research did not include human or animal studies and was therefore not subject to verification.

Author contribution statement (CRediT). **J. C. García-Santiago** – Conceptualization, Data curation and Writing–original draft. **A. Méndez-López** – Conceptualization, Methodology, Supervision, Writing–review and editing. **M. Sánchez-Vega** – Resources, Writing–review and

editing. **H. Pérez-Hernández** – Formal analysis and Visualization.

REFERENCES

- A'ali, R., Jafarpour, M., Kazemi, E. and Pessarakli, M., 2017. Effects of raw materials on vermicompost qualities. *Journal of Plant Nutrition*, 40, pp.1635–1643. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1270319>
- AOAC., 2000. Official Methods of Analysis, 17th edition. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists. pp. 490-510.
- Aremu, A.O., Stirk, W.A., Kulkarni, M.G., Tarkowská, D., Turečková, V., Gruz, J., Šubrtová, M., Pěňčík, A., Novák, O., Doležal, K., Strnad, M. and Van Staden, J., 2015. Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant Growth Regulation*, 75, pp. 483–492. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-0011-0>
- 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*, 15, pp.

- 46–59. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000005>
- Benti, G., Tadesse, F., Degefa, G., Jafar, M. and Bir, A., 2021. Integrated effects of vermicompost and nitrogen on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) in lowlands of eastern Harerghe. *Plant*, 9, pp. 81–87. <https://doi.org/10.11648/j.plant.20210903.16>
- Bidabadi, S.S., 2018. Waste management using vermicompost derived liquids in sustainable horticulture. *Trends in Horticulture*, 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.24294/th.v1i3.175>
- Čabilovski, R., Manojlović, M.S., Popović, B.M., Radojčin, M.T., Magazin, N., Petković, K., Kovačević, D. and Lakićević, M.D., 2023. Vermicompost and vermicompost leachate application in strawberry production: Impact on yield and fruit quality. *Horticulturae*, 9, pp. 337. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030337>
- Chaoui, H.I., Zibilske, L.M. and Ohno, T., 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, pp. 295–302. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00279-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00279-1)
- Chinsamy, M., Kulkarni, M.G. and Van Staden, J., 2013. Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*, 71, pp. 41–47. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9807-6>
- Dube, L., Naidoo, K.K., Arthur, G.D., Aremu, A.O., Gruz, J., Šubrtová, M., Jarošová, M., Tarkowski, P. and Doležal, K., 2018. Regulation of growth, nutritive, phytochemical and antioxidant potential of cultivated *Drimiopsis maculata* in response to biostimulant (vermicompost leachate, VCL) application. *Plant Growth Regulation*, 86, pp. 433–444. <https://doi.org/10.1007/s10725-018-0441-1>
- El-Hameid, A. and Adel, S., 2018. Improving productivity and quality of mango using humic acid and vermicomposting leachate in north Sinai. *Egyptian Journal of Desert Research*, 68, pp. 37–59.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, 5ª edición. Instituto de Geografía-UNAM: Serie Libros, México. pp. 11–90.
- García, R.C., Dendooven, L. and Gutiérrez-Miceli, F., 2008. Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7, pp. 360–367. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.360.367>
- García-Santiago, J.C., Pérez Hernández, H., Sánchez Vega, M. and Méndez López, A., 2024. Benefits of vermicompost in agriculture and factors affecting its nutrient content. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, pp. 4898–4917. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01880-0>
- Gómez-Brandón, M., Aira, M. and Domínguez, J., 2020. Vermicomposts are biologically different: Microbial and functional diversity of green vermicomposts. In: S.A. Bhat, A.P. Vig, F. Li, and B. Ravindran (Eds.), *Earthworm assisted remediation of effluents and wastes*. Singapore. Springer. pp. 125–140. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4522-1_8
- Goykovic, V. and Saavedra del Real, G., 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia* (Arica), 25, pp. 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292007000300006>
- Gusain, R. and Suthar, S., 2020. Vermicomposting of invasive weed *Ageratum conyzoides*: Assessment of nutrient mineralization, enzymatic activities, and microbial properties. *Bioresource Technology*, 312, pp. 123537. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123537>
- Gutiérrez-Miceli, F.A., García-Gómez, R.C., Oliva-Llaven, M.A., Montes-Molina, J.A. and Dendooven, L., 2017. Vermicomposting leachate as liquid fertilizer for the cultivation of sugarcane (*Saccharum* sp.). *Journal of Plant Nutrition*, 40, pp. 40–49. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1193610>

- INIFAP., 2017. Agenda técnica agrícola Coahuila [online]: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible en: <https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/Content?%2f%2f=AT> [accesado el 10 Agosto del 2024].
- Jabeen, N. and Ahmad, R., 2017. Growth response and nitrogen metabolism of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to vermicompost and biogas slurry under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 40, pp. 104–114. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201495>
- Kato, T.A., Mapes, C., Mera, L.M., Serratos, J.A. and Bye, R.A., 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. México: UNAM-CONABIO. pp. 43-66.
- Khalique, T., Mahmood, T., Kamal, J. and Masood, A., 2004. Effectiveness of farmyard manure, poultry manure and nitrogen for corn (*Zea mays* L.) productivity. *International Journal of Agriculture and Biology* (Pakistan), 6, pp. 260–263.
- Khayat, M., 2019. Investigation role of vermicompost to improve quantitative and qualitative characteristics of corn (*Zea mays* L.) production. *Journal of Crop Nutrition Science*, 5, pp. 47–60. <https://oicpress.com/jcns/article/view/5911/2602>
- León-Anzueto, E., Abud-Archila, M., Dendooven, L., Ventura-Canseco, L.M.C. and Gutiérrez-Miceli, F.A., 2011. Effect of vermicompost, worm-bed leachate and arbuscular mycorrhizal fungi on lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.) growth and composition of its essential oil. *Electronic Journal of Biotechnology*, 14, pp. 1–11.
- Makkar, C., Singh, J. and Parkash, C., 2017. Vermicompost and vermiwash as supplement to improve seedling, plant growth and yield in *Linum usitatissimum* L. for organic agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6, pp. 203–218. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0168-4>
- Musito-Ramírez, N., Vega Sánchez, M.C., Rodríguez Valdés, J.G. and Padrón Corral, E., 2004. Genotipos de maíz tolerantes a salinidad; un estudio preliminar para iniciar un programa de selección. *Revista Agraria*, 1, pp. 18–23. <https://doi.org/10.59741/agraria.v1i3.296>
- Padayatty, S.J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P.K., Song, J., Koh, W.S., Levine, M., 2001. Vitamin C: From molecular actions to optimum intake. In: L. Packer (Ed.), *Handbook of antioxidants*. Washington, DC, USA. CRC Press. pp. 117–145.
- 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. 2nd International Conference on Environment and BioScience, Phnom Penh, Cambodia, 28-29 September, 2012. IACSIT Press, Singapore. pp. 43–47.
- Sattar, A., Sher, A., Ijaz, M., Ul-Allah, S., Butt, M., Irfan, M., Rizwan, M.S., Ali, H. and Cheema, M.A., 2020. Interactive effect of biochar and silicon on improving morpho-physiological and biochemical attributes of maize by reducing drought hazards. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, pp. 1819–1826. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00253-7>
- SIAP., 2024. Anuario estadístico de la producción agrícola [online] México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp [accesado el 15 de Agosto del 2024].
- Singh, N.I. and Chauhan, J.S., 2009. Response of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to organic manures and inorganic fertilizer on growth and yield parameters under irrigated condition. *Nature and Science*, 7, pp. 52–54.
- Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., Kumar, A. and Jangra, K.K., 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*, 124, pp. 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.002>

- 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, pp. 6228–6232. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.031>
- Torres, A., Héctor Ardisana, E., León Aguilar, R., Zambrano Gavilanes, F. and Fosado-Téllez, O., 2024. Vermicompost leachate-based biostimulant and its effects on physiological variables and yield of different crops in Manabí, Ecuador. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25, pp. e3388. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3388
- Torres, A., Héctor, E., Fosado, O., Cué, J., Mero, J., León, R. and Peñarrieta, S., 2019. Respuesta del pimiento (*Capsicum annuum* L.) ante aplicaciones foliares de diferentes dosis y fuentes de lixiviado de vermicompost. *Bioagro*, 31, pp. 213–220.
- Ureta, C., González, E.J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. and Álvarez-Buylla, E.R., 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, pp. 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Wu, M. and Kubota, C., 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, 116, pp. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.014>
- Wu, Q., Zhang, J., Liu, X., Chang, T., Wang, Q., Shaghaleh, H. and Hamoud, Y.A., 2023. Effects of biochar and vermicompost on microorganisms and enzymatic activities in greenhouse soil. *Frontiers in Environmental Science*, 10, pp. 1060277. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1060277>
- Zandonadi, D.B. and Busato, J., 2012. Vermicompost humic substances: technology for converting pollution into plant growth regulators. *International Journal of Environmental Science and Engineering Research*, 3, pp. 73–84.