

# Efecto de la relación humus: sedimento en la germinación y crecimiento inicial de cacao (*Theobroma cacao*)

## Effect of the humus-to-sediment ratio on the germination and initial growth of cocoa (*Theobroma cacao*)

Ever Darío Morales Avendaño<sup>1</sup> , Melany Pierina Bravo Cevallos<sup>1</sup> , Aldrin Dairy Moreno Veliz<sup>1</sup> ,  
Rodolfo Jeampier Plaza Choez<sup>1</sup> , María Fernanda Vincés Pin<sup>1</sup> , Cesar Xavier Palacios Tapia<sup>1</sup> ,  
Manuel Ángel Vélez Sabando<sup>1</sup> 

Siembra 13 (2) (2026): e9703

DOI: [10.29166/siembra.v13i2.9703](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i2.9703)

Recibido: 20/02/2026

Revisado: 04/04/2026 / 07/07/2026

Aceptado: 09/07/2026



<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Ingeniería Ambiental. Sitio el Limón. 130250. Calceta, Manabí, Ecuador.

Correspondencia: [edmorales@espam.edu.ec](mailto:edmorales@espam.edu.ec).

### Resumen

La contaminación por agroquímicos y la degradación de suelos exigen la búsqueda de biofertilizantes orgánicos que garanticen la sostenibilidad del cultivo de cacao, la presente investigación evaluó la calidad nutricional de un humus producido a partir de bovinaza y lechuguín (*Eichhornia crassipes*), así como su efecto en la etapa inicial del Cacao Nacional Fino de Aroma, el diseño experimental consistió en cinco tratamientos con diferentes proporciones de sedimento y humus, analizando variables químicas, presencia de metales pesados y respuesta biológica. Los resultados mostraron que el humus puro posee la mayor concentración de macronutrientes, con valores de potasio que alcanzaron los 7306,79 mg kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, en la fase de germinación a los nueve días, el humus al 100% inhibió totalmente la emergencia de las semillas; mientras que el control de sedimento y la mezcla (1:3) lideraron con un 62% y 61% de éxito, respectivamente. A los trece días, el tratamiento de humus (100%) superó la latencia inicial alcanzando un 95% de germinación. En cuanto al Cd, se mantuvo en niveles permisibles de 0,98 mg kg<sup>-1</sup>, menor a 1,00 mg kg<sup>-1</sup> en todos los sustratos. Estos resultados obtenidos, a nivel inicial del crecimiento de plantas constituye una experiencia, para disminuir el uso excesivo de fertilizantes químicos, reduciendo así su impacto nocivo en el medio ambiente. Además, el cacao orgánico, al estar libre de residuos químicos, ofrece un producto más saludable, promoviendo prácticas agrícolas sostenibles que benefician a la comunidad y al ecosistema.

**Palabras clave:** biofertilizante, humus, sustratos, *Theobroma cacao*.

### Abstract

Agrochemical contamination and soil degradation demand the search for organic biofertilizers that guarantee the sustainability of cacao cultivation. This research evaluated the nutritional quality of a humus produced from cattle manure and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), as well as its effect on the initial stage of Fine Aroma National Cacao. The experimental design consisted of five treatments with different proportions of sediment and humus, analyzing chemical variables, presence of heavy metals, and biological response. The results showed that pure humus possesses the highest concentration of macronutrients, with potassium values reaching 7306.79 mg kg<sup>-1</sup>. However, in the germination phase at nine days, 100% humus totally inhibited seed emergence, while the sediment control and the mixture (1:3) led with 62% and 61% success, respectively. At thirteen days, the humus treatment (100%) overcame the initial dormancy, reaching 95% germination. Regarding Cd, it remained

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 13, núm 2, 2026

[siembra.fag@uce.edu.ec](mailto:siembra.fag@uce.edu.ec)



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución - NoComercial

© Los Autores 2026

at permissible levels of  $0.98 \text{ mg kg}^{-1}$ , lower than  $1.00 \text{ mg kg}^{-1}$  in all substrates. These results, obtained at the initial level of plant growth, constitute an experience for reducing the excessive use of chemical fertilizers, thereby reducing their harmful impact on the environment. In addition, organic cacao, being free of chemical residues, offers a healthier product, promoting sustainable agricultural practices that benefit the community and the ecosystem.

**Keywords:** biofertilizer, humus, substrates, *Theobroma cacao*.

## 1. Introducción

La acelerada contaminación de suelos y aguas, producto de la descarga de efluentes y la aplicación intensiva de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes químicos, ejerce un elevado impacto ambiental y compromete la salud humana. Ante este escenario, se requiere proseguir con estudios orientados a la búsqueda de materias primas orgánicas biodegradables que permitan desarrollar biofertilizantes con calidad nutricional documentada. La calidad de un abono orgánico se determina en función del agroecosistema de destino, por lo cual es imperativo identificar en su caracterización el contenido nutricional disponible y las propiedades del sustrato que condicionan la respuesta vegetativa (Reyes-Pérez et al., 2018; García Gutiérrez y Félix Herrá, 2014). Los sustratos para estos abonos se seleccionan generalmente de sectores agropecuarios locales, clasificándose según su origen en agrícola, ganadero, forestal o urbano; en consecuencia, las propiedades del producto final reflejan las características del entorno involucrado (Alvarez Ticllasuca et al., 2022; Muñoz-Rengifo et al., 2024).

El humus producido a partir de restos de bovinaza y lechuguín (*Eichhornia crassipes*) representa una opción biotecnológica para el cultivo de cacao orgánico debido a su potencial como fuente de macronutrientes esenciales como N, P y K, los cuales inciden directamente sobre procesos fisiológicos clave en las etapas iniciales del desarrollo vegetal. Desde el punto de vista agronómico, el nitrógeno favorece la síntesis proteica y el desarrollo foliar, el fósforo es indispensable para la transferencia de energía y el establecimiento del sistema radical, y el potasio regula la turgencia celular y la apertura estomática (Marschner, 2012). La bovinaza aporta materia orgánica de alta disponibilidad biológica; mientras que el lechuguín, una planta acuática con alta capacidad de absorción de minerales, complementa el perfil nutricional necesario para el establecimiento de plántulas (Murrillo Montoya et al., 2019; Gutiérrez et al., 2025). La incorporación de sedimento de río como componente del sustrato puede mejorar la estructura física y la aireación de la mezcla, factores determinantes en la emergencia y el anclaje radicular durante la germina-

ción (Oviedo- Ocaña et al., 2017); (Rivas-Nichorzon y Silva-Acuña, 2020).

En el marco del conocimiento actual, la sustitución parcial de agroquímicos por insumos orgánicos de origen local constituye una alternativa agronómica viable para reducir la dependencia de fertilizantes de síntesis química, contribuyendo al mantenimiento de la fertilidad del suelo en sistemas de producción de cacao (Quevedo Guerrero et al., 2020). Sin embargo, persiste la interrogante sobre cuál es la proporción óptima de humus y de arena de río que maximiza el éxito biológico en las etapas fenológicas iniciales del Cacao Nacional Fino de Aroma [CNFA], sin comprometer el desarrollo de las plántulas.

La hipótesis planteada en esta investigación es que la combinación de humus producido a partir de bovinaza y lechuguín con sedimento de río, en proporciones determinadas, influye positivamente en la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de CNFA en comparación con proporciones subóptimas de mezcla, siendo la relación humus:sedimento el factor determinante de la respuesta vegetativa observada. El CNFA es un tipo de cacao reconocido internacionalmente por sus características organolépticas distintivas y su pureza genética, bajo los criterios de clasificación de la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2024). El diseño del estudio contempla la caracterización nutricional de los sustratos y la evaluación de la respuesta vegetativa bajo diferentes proporciones de mezcla; por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la relación humus:sedimento en la germinación y el crecimiento de plántulas de CNFA para seleccionar el tratamiento con mayor eficiencia productiva.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la Finca La Pastora Sol (Latitud:  $0^{\circ} 49' 40,7''$ ; Longitud: W  $80^{\circ} 11' 36,76''$  ubicada en la zona del triángulo de Chone, Tosagua y Calceta en Manabí, Ecuador. El sitio presenta características edafoclimáticas propias de un bosque seco tropical, con una temperatura promedio de  $26^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa del 80%. El experimento se de-

sarrolló bajo condiciones controladas de vivero para asegurar la homogeneidad en la exposición lumínica y el riego (Jones et al., 2025)

## 2.1. Material biológico e insumos

El proceso de estabilización se realizó mediante vermicompostaje, para lo cual se emplearon 250 lombrices de la especie *Eisenia foetida* por unidad experimental, adquiridas de una empresa especializada en lombricultura. La mezcla de bovinaza y lechuguín fue distribuida en nueve unidades experimentales de madera (60 cm × 50 cm × 20 cm), manteniéndose el proceso durante siete meses. Durante este período cual se realizaron mezclas periódicas del sustrato con el fin de garantizar la aireación adecuada y las condiciones de humedad necesarias para la preservación y actividad de las lombrices. Al finalizar el periodo de estabilización se obtuvo el humus utilizado como sustrato base en los tratamientos experimentales. La arena lavada de río (textura franco-arenosa) se extrajo de depósitos aluviales del río Carrizal para ser utilizada como control y base de las mezclas.

## 2.2. Diseño experimental

Los cinco tratamientos incluidos en el estudio se presentan en la Tabla 1. En cuanto a la cantidad menor de fundas para T5, se explica por el menor volumen de abono orgánico utilizado inicialmente al momento de adicionar las 250 lombrices. No obstante, no se logró una mayor producción de Humus, como para

alcanzar la misma cantidad de fundas.

Esta condición es reconocida en la literatura estadística experimental (Montgomery, 2013), donde se señala que “es posible que el experimentador haya diseñado inicialmente un experimento equilibrado, pero debido a problemas imprevistos al ejecutar el experimento, que dan lugar a la pérdida de algunas observaciones, termina con datos desequilibrados” (cap. 15.2). En consecuencia, el análisis estadístico se realizó con los procedimientos apropiados para datos desbalanceados, considerando que T5 presenta menor potencia estadística debido a su menor número de réplicas.

Para la caracterización química de los sustratos se determinó el contenido de N, P y K, y la presencia de Cd y Pb se cuantificó mediante espectroscopía de absorción atómica [AAS]. Los protocolos del laboratorio se basan en el Acuerdo Ministerial 097/A del Ministerio del Ambiente y Energía.

Las variables dependientes medidas fueron Porcentaje de germinación: evaluado a los 9 y 13 días post-siembra; y, Crecimiento: medida con un calibrador digital a los 9 y 14 días.

## 2.3. Análisis estadístico

El procesamiento y análisis de los datos se realizó mediante el software estadístico especializado Minitab versión 18.1 (Minitab LCC, 2026). Los resultados descriptivos fueron representados mediante la media y la desviación estándar.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo.

Table 1. Description of the treatments evaluated in the trial.

| Tratamiento | Fundas | Sedimento:Humus | Proporción (%) |
|-------------|--------|-----------------|----------------|
| T1          | 50     | Sedimento       | 100:0          |
| T2          | 50     | Sedimento:Humus | 1:1            |
| T3          | 50     | Sedimento:Humus | 1:2            |
| T4          | 45     | Sedimento:Humus | 1:3            |
| T5          | 22     | Humus           | 0:100          |

## 3. Resultados y Discusión

En la Tabla 2 se presentan los valores correspondientes a las concentraciones de N, P y K determinados para cada uno de los tratamientos evaluados. Los resultados evidencian que T1 exhibió las concentraciones más reducidas de los tres macronutrientes, caracterizándose por la inexistencia de nitrógeno de-

tectable (0,00 mg kg<sup>-1</sup>), así como por contenidos muy bajos de P (276,8 mg kg<sup>-1</sup>) y K (0,98 mg kg<sup>-1</sup>).

Por otro lado, el aumento progresivo de la proporción de materia orgánica se asoció con un incremento en la disponibilidad de macronutrientes, observándose los valores máximos en T5, correspondiente al control con 100% de humus. Este tratamiento presentó las concentraciones más altas del estudio, alcanzando

**Tabla 2.** Concentración de N, P y K (mg kg<sup>-1</sup>) según el tratamiento de sustrato orgánico.  
**Table 2.** N, P and K concentration (mg kg<sup>-1</sup>) according to organic substrate treatment.

| Tratamientos | N      | P        | K        |
|--------------|--------|----------|----------|
| T1           | 0,00   | 276,8    | 0,98     |
| T2           | 320,00 | 1.948,00 | 2.579,07 |
| T3           | 160,00 | 2.928,00 | 3.866,36 |
| T4           | 160,00 | 2.736,00 | 4.821,27 |
| T5           | 640,00 | 3.344,00 | 7.306,79 |

640,00 mg kg<sup>-1</sup> de N, 3.344,00 mg kg<sup>-1</sup> de P y 7.306,79 mg kg<sup>-1</sup> de K; No obstante, estos niveles ocasionan retraso en las fases iniciales de la germinación.

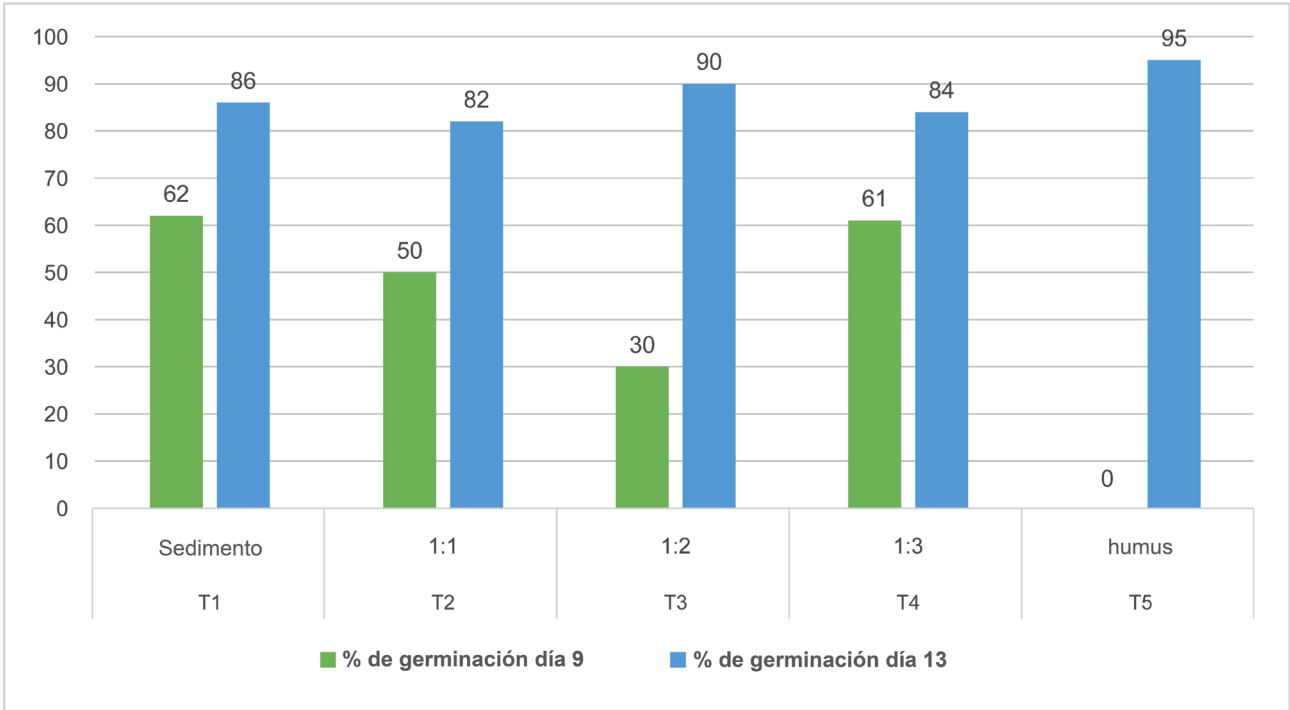
En el análisis de la composición química de los sustratos, se observó que el contenido de N, P y K incrementó proporcionalmente a la concentración de humus en la mezcla. Este enriquecimiento nutricional es característico del humus producido a partir de bovinaza y lechuguín (*Eichhornia crassipes*), los cuales actúan como fuentes concentradas de macronutrientes esenciales para el cacao (Palma et al., 2018). La alta carga de K en los tratamientos con mayor volumen de humus se relaciona directamente con la capacidad de bioacumulación de esta planta acuática durante su proceso de compostaje (López Jerves, 2012). No obstante, la superioridad química observada en el análisis proximal no se tradujo directamente en éxito bioló-

gico durante la etapa inicial (Vences-Martínez et al., 2025).

3.1. Dinámica de germinación (9 y 13 días)

En la Figura 1 se muestran los porcentajes de germinación obtenidos para semillas de CNFA durante dos momentos de evaluación. Los resultados ponen de manifiesto diferencias en la respuesta germinativa asociadas tanto al tiempo de evaluación como a la proporción de materia orgánica presente en los sustratos.

En la fase de germinación inicial a los 9 días para semillas de CNFA se observó que el control de sedimento o arena lavada de río al 100% (T1) y la mezcla sedimento-humus en relación 1:3 (T4) obtuvieron los mayores porcentajes de éxito con un 62% y 61%



**Figura 1.** Porcentaje de germinación acumulada de semillas de Cacao Nacional Fino de Aroma a los 9 y 13 días de evaluación post-siembra.  
**Figure 1.** Cumulative germination percentage of seeds of Fine Aroma National Cocoa at 9 and 13 days of post-planting evaluation

respectivamente, debido a que la textura franco-arenosa del suelo proporciona la aireación y el drenaje óptimos que el embrión de cacao requiere para su emergencia inicial sin sufrir estrés hídrico (Mendoza Intriago et al., 2024). A pesar de la deficiencia nutricional reportada en el suelo base, su estructura física evita el encharcamiento, factor que suele inhibir la germinación en medios con excesiva carga orgánica (Gracia Valenzuela et al., 2019). Mientras que la integración estratégica de humus derivado de bovinaza y lechuguín en el tratamiento T4 sugiere que un equilibrio entre el aporte de macronutrientes (N, P, K) y la porosidad del sedimento favorece la activación enzimática de la semilla (Schmidt et al., 2025).

Este resultado constituye, sin embargo, la paradoja central del experimento: el sustrato con la mayor concentración de macronutrientes humus al 100% (T5), con  $K = 7306,79 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $P = 3344,00 \text{ mg kg}^{-1}$  fue el único que inhibió totalmente la emergencia a los 9 días (0%). Esta inhibición no puede explicarse por deficiencia nutricional, sino por el efecto contrario: la elevada densidad de sales minerales genera un potencial osmótico externo más negativo que el potencial hídrico interno del embrión, impidiendo la imbibición de agua necesaria para iniciar la germinación (Zahid et al., 2025). Desde una perspectiva agronómica crítica, este resultado evidencia que la riqueza química del sustrato no garantiza el éxito biológico en las etapas fenológicas iniciales; la estructura física porosa y el equilibrio iónico del medio son condiciones igualmente imprescindibles. Este comportamiento, atribuible a fitotoxicidad por exceso de materia orgánica y conductividad eléctrica elevada, ha sido reportado en sustratos orgánicos de alta densidad nutricional (Vences-Martínez et al., 2025); ya que las semillas de cacao son altamente sensibles al potencial osmótico del sustrato, donde un exceso de sales o nutrientes concentrados en el humus puro puede bloquear la imbibición de agua necesaria para el vigor inicial (Wang et al., 2024).

No obstante, al evaluar la dinámica de germinación a los 13 días, se evidenció un cambio drástico en la jerarquía de los tratamientos, donde el T5 (Humus 100%) superó la latencia inicial para alcanzar el mayor índice de éxito con un 95%, seguido por el T3 (Relación 1:2) con un 90%.

Este salto productivo indica que, una vez superada la barrera osmótica y estabilizada la humedad, la alta concentración de nutrientes del humus de bovinaza y lechuguín potencia el desarrollo una vez iniciada la fase metabólica activa. Por su parte, el T1 y el T4 finalizaron con un 86% y 84% respectivamente, demostrando que, aunque el sedimento facilita una emergencia temprana rápida, los sustratos con mayor carga

orgánica consolidan un vigor germinativo superior a mediano plazo (Cardoza-Viera et al., 2024). Estos resultados finales en T2 y T3 confirman que, si bien las proporciones de humus requieren mayor tiempo para alcanzar la estabilidad física, la combinación del biofertilizante de bovinaza y lechuguín con sedimento es la estrategia más eficiente para garantizar una calidad productiva orgánica que no comprometa el desarrollo metabólico del cultivo; el cual es dependiente de factores ambientales y nutricionales (Cardoza-Viera et al., 2024).

### 3.2. Crecimiento en altura promedio de las plántulas

A los 9 días de evaluación, los resultados muestran una variación en el crecimiento aéreo en función de la composición del sustrato utilizado. T1 registró el valor más alto de crecimiento con un promedio de 17,12 cm, y se observó una tendencia decreciente en el crecimiento conforme aumentó la proporción de carga orgánica en las mezclas, donde T2 y T3 obtuvieron valores de 14,87 cm y 14,75 cm; respectivamente. Por su parte, T4 alcanzó los 10,66 cm, mientras que el valor mínimo de crecimiento se identificó en T5 (Control humus 100 %) con solo 8,50 cm de altura.

Que el tratamiento de control con sedimento (T1) alcanzara el mayor crecimiento promedio coincide con estudios donde suelos arenosos favorecen el establecimiento temprano (Buriticá et al., 2025). Por el contrario, que el T5 registrara el menor crecimiento se debe a una inhibición que se atribuye a la elevada conductividad eléctrica del humus de bovinaza y lechuguín, la cual genera un estrés osmótico que restringe el crecimiento celular (Allen et al., 2024). Los tratamientos intermedios T2 y T3 muestran una tendencia decreciente conforme aumenta la carga orgánica, confirmando que el exceso de minerales como el K puede alterar el potencial hídrico en el CNFA (Adet et al., 2024).

Los valores promedio de crecimiento alcanzados por las plántulas de CNFA al décimo cuarto día de evaluación muestran la persistencia de variaciones en el desarrollo vegetativo según la composición del sustrato. T1 (Sedimento 100 %) mantuvo el valor más alto de crecimiento con un promedio de  $15,6 \pm 1,07$  cm. Esto evidencia que la estructura física del sedimento continúa favoreciendo la expansión mecánica del tallo en etapas tempranas (Quinde Melo, 2024). Además, de que el contenido de las reservas de nutrientes de los cotiledones, parecen contribuir con eficiencia en los inicios de la germinación y crecimiento. El exceso de nutrientes en el sustrato puede causar un efecto inhibitorio en la germinación, en cambio mez-

clas de otros sustratos con humus a niveles moderados, se favorece o se normaliza la germinación, por otra parte, las semillas de cacao reservan nutrientes en los cotiledones.

En cambio, los tratamientos enriquecidos con materia orgánica presentaron valores estabilizados, donde T3 registró  $13,8 \pm 0,67$  cm y T4 alcanzó  $13,6 \pm 2,08$  cm. T2 reportó un crecimiento de  $11,8 \pm 1,18$  cm, mientras que el valor mínimo de crecimiento se identificó nuevamente en T5 (Control humus 100 %) con un registro de  $11,6 \pm 2,19$  cm.

El exceso de humus en el sustrato puede comprometer la estructura porosa del suelo, reduciendo la aireación y el drenaje necesarios para el desarrollo radicular del cacao (Oviedo-Ocaña et al., 2017). Esto se sustenta en la óptima aireación de la rizosfera que permite un flujo constante de oxígeno hacia las raíces, factor determinante para el vigor vegetativo del CNFA (Pineda Pineda et al., 2020). No obstante, se observa una estabilización en los tratamientos enriquecidos como T2, T3 y T4, sugiriendo que la asimilación gradual de los nutrientes aportados por el humus producido, comienza a equilibrar el desarrollo frente al control (Ruiz Flores, 2025). En cambio, el valor alcanzado por T5 expresa una tendencia de crecimiento similar a T2, T3 y T4. Esto es posiblemente debido a la reducción del contenido de los nutrientes, que al principio generaron efecto inhibitorio por el exceso de carga mineral del humus, lo cual actuaba como limitantes del potencial osmótico necesario para el crecimiento celular sostenido (Jaimes-Suárez et al., 2022). En consecuencia, los resultados a los 14 días refuerzan la necesidad de emplear mezclas orgánicas equilibradas para evitar el retardo del crecimiento fisiológico inducido por sustratos saturados.

### 3.3. Número de hojas

Los valores registrados del promedio de hojas desarrolladas por las plántulas de CNFA, al décimo cuarto día de evaluación post-siembra, muestran una respuesta diferenciada según la carga orgánica presente en el sustrato. En cuanto a T3 (relación 1:2), se perfila una tendencia a que el contenido de nutrientes podría iniciar una estimulación en cuanto al desarrollo foliar, en función del número de hoja, alcanzando un promedio de 4,4. Por su parte, los tratamientos T2 (1:1) y T4 (1:3) presentaron un comportamiento idéntico con un promedio de 4,2 hojas. Finalmente, el control de sedimento (T1) y el tratamiento de humus puro (T5) registraron los valores mínimos de la evaluación con un promedio de 4,0 hojas cada uno.

Las mediciones correspondientes al desarrollo de hojas alcanzado por las plántulas al finalizar el perio-

do de 27 días reflejan una tendencia marcada hacia la estabilización del crecimiento en los tratamientos con mezclas orgánicas frente al control de sedimento. T1 (Sedimento) registró el mayor desarrollo foliar con una longitud promedio de 10,5 cm, con una desviación estándar en el experimento de 1,48. Los tratamientos con mezclas de humus mostraron valores similares entre sí: el T4 alcanzó 7,5 cm, mientras que los tratamientos T2 y T3 reportaron un crecimiento de 7,4 cm. El valor más bajo de desarrollo se observó en el tratamiento T5 (Humus 100%) con un registro de 6,7 cm.

Las diferencias entre tratamientos no son estadísticamente significativas a los 14 días, lo que indica un desarrollo foliar similar en todos los tratamientos durante esta etapa, lo que coincide con estudios donde mezclas equilibradas favorecen el desarrollo foliar temprano antes que el resto de los tratamientos (Bastita-Sánchez et al., 2024). Sin embargo, al observar el desarrollo de estas hojas a los 27 días, es el sedimento (T1) el que lidera; lo que indica que, aunque las mezclas con humus producen más hojas inicialmente, el sedimento aluvial permite una mayor expansión laminar y crecimiento debido a su porosidad y menor resistencia mecánica (Avila Pedraza, 2025).

Desde el punto de vista químico, la alta concentración de K ( $7.306,79$  mg kg<sup>-1</sup>) y P ( $3.344,00$  mg kg<sup>-1</sup>) en el humus (T5) explica por qué este sustrato, a pesar de tener un inicio lento, logra igualar el número de hojas del control al décimo cuarto día. La inhibición de la germinación al día 9 en T5 se atribuye a un exceso de sales minerales que genera un estrés, retrasando la emergencia pero no limitando la capacidad de producción foliar una vez establecida la plántula (Meza et al., 2007). Este comportamiento es característico de los sustratos orgánicos de alta densidad nutricional, donde el vigor vegetativo posterior compensa la latencia inicial inducida por el medio.

El análisis de la longitud de las hojas a los 27 días revela una respuesta fisiológica divergente: T1 (Sedimento) superó en un 56% la extensión promedio de T5. Esta superioridad métrica del sedimento puro sugiere que permite una expansión máxima de la lámina foliar del CNFA (Mollericon Alfaró et al., 2022). Por el contrario, en las mezclas con humus, el crecimiento parece estar limitado por la densidad del sustrato, lo que prioriza la formación de tejidos más compactos pero menos extensos (Domínguez et al., 2010).

Desde el punto de vista del equilibrio mineral, la marcada diferencia entre la longitud de T1 y T5 puede explicarse por la alta conductividad eléctrica que suele acompañar a concentraciones de K superiores a los  $7.000$  mg kg<sup>-1</sup>. Este exceso de nutrientes en el humus puro actúa como un limitante para el crecimen-

to celular, ya que el esfuerzo metabólico se desplaza hacia la regulación del balance hídrico interno de las plántulas de *Theobroma cacao* (Alvarado Zamora & Ramos Remache, 2024)2024. En consecuencia, la plántula bajo estrés nutricional por exceso tiende a presentar hojas de menor dimensión longitudinal, a pesar de poseer una reserva química superior en el sustrato (Jaume et al., 2023).

Finalmente, las proporciones intermedias de las mezclas (T2, T3, T4) muestran una estabilidad morfológica con longitudes que oscilan apenas entre 7,4 y 7,5 cm, lo que evidencia una respuesta adaptativa uniforme ante la presencia de materia orgánica. Las mezclas T2, T3 y T4 mostraron valores similares (7.4-7.5 cm), sugiriendo una respuesta uniforme ante la presencia de materia orgánica (Amador Sacoto et al., 2022).

### 3.4. Presencia de metales pesados (Pb y Cd)

En la Tabla 3 se detallan las concentraciones de Pb y Cd identificadas en los sustratos tras el proceso de estabilización, los resultados muestran que los niveles de Pb fueron superiores a los de Cd en la totalidad de los tratamientos evaluados. La mayor concentración de Pb se registró en el tratamiento T4, seguido de cerca por el T2. Este comportamiento puede vincularse a la capacidad de adsorción de la materia orgánica y las características del sedimento, donde la presencia de plomo en sedimentos fluviales de la zona puede alcanzar niveles detectables debido a la persistencia y bioacumulación de este metal en el lecho de los ríos (Zender Peña et al., 2025).

Es notable que el T5 (humus 100%) presentó el nivel más bajo de Pb, lo que sugiere que la estabilización de la bovinaza y el *Eichhornia crassipes* puede contribuir a una menor disponibilidad de plomo en comparación con las mezclas que incluyen sedimento (Zeeshan Manzoor et al., 2024).

Por otro lado, los niveles de Cd se mantuvieron estables por debajo de 1,00 mg kg<sup>-1</sup> en todas las muestras, detectándose una concentración uniforme de 0,98 mg kg<sup>-1</sup> en los tratamientos T2, T4 y T5. La

estabilidad en estos valores indica que el uso de *Eichhornia crassipes* (lechuguín) como insumo es seguro, a pesar de su alta capacidad natural para actuar como biomonitor y acumulador de Cd en ecosistemas acuáticos de la región (Maddock et al., 1988). El tratamiento T3 (1:2) reportó el valor mínimo de 0,91 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que el T1 no registró presencia detectable del metal, lo cual es consistente con reportes previos donde el Cd en ciertos suelos agrícolas de Ecuador se encuentra dentro de límites permisibles o como elemento traza, esto de acuerdo con La Norma Técnica de Suelo en Ecuador, basada en el Acuerdo Ministerial 097-A (Libro VI Anexo 2) del Ministerio del Ambiente y Energía.

Estos bajos niveles de contaminación por Cd en los insumos locales de la Finca La Pastora Sol son fundamentales, ya que altas concentraciones de este metal podrían perturbar los procesos fisiológicos y reducir la productividad final del cultivo de cacao (Chancay Alcívar et al., 2022). Finalmente, la gestión adecuada de estos residuos orgánicos asegura que el desarrollo metabólico inicial del CNFA no se vea comprometido por factores de fitotoxicidad.

En concordancia con estos resultados, estudios realizados en suelos cacaoteros de la provincia de Manabí bajo manejo convencional reportan concentraciones de Pb y Cd dentro de rangos similares, generalmente por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana. Esto sugiere una baja presión por contaminación metálica en sistemas productivos locales (Navia-Bermello et al., 2025). Esta coincidencia refuerza la idea de que los insumos utilizados en la Finca La Pastora Sol presentan condiciones adecuadas para el establecimiento y desarrollo inicial del CNFA.

### 3.5. Análisis de varianza y comparaciones múltiples

El análisis de varianza [ANOVA] para el crecimiento al día 14 determinó diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $p < 0,001$ ) (Tabla 4). La prueba de Tukey permitió identificar cuatro

**Tabla 3.** Concentración de metales pesados (mg kg<sup>-1</sup>) en los tratamientos evaluados.

**Table 3.** Concentration of heavy metals (mg kg<sup>-1</sup>) in the evaluated treatments.

| Tratamientos | Plomo (Pb) | Cadmio (Cd) |
|--------------|------------|-------------|
| T1           | 2,12       | 0,00        |
| T2           | 2,30       | 0,98        |
| T3           | 1,48       | 0,91        |
| T4           | 2,35       | 0,98        |
| T5           | 1,15       | 0,98        |

grupos de significancia, donde el T1 (sedimento) lideró el crecimiento (Grupo A), seguido por las mezclas T3 y T4 (Grupo B). El tratamiento T5 (Humus 100%) presentó el desempeño más bajo, quedando relegado al Grupo D.

La convergencia de ambas pruebas estadísticas revela que, aunque el humus es un aporte nutricional valioso, su densidad mineral, particularmente los altos niveles de K registrados, actúa como un limitante físico-químico inicial. Mientras que el ANOVA separa a T1 como el mejor por su porosidad y aireación, la regresión cuantifica exactamente cómo el exceso de enmienda orgánica frena la turgencia celular necesaria para la expansión (Luna-Fletes et al., 2025). Esta respuesta negativa lineal sugiere que el CNFA prefiere un medio de crecimiento menos saturado durante las primeras dos semanas (Amador Sacoto et al., 2022)

Por otro lado, la estabilidad del Grupo B (T3 y

T4) en la prueba de Tukey indica que existe un rango de tolerancia donde la planta puede beneficiarse de la nutrición orgánica sin sacrificar drásticamente su vigor (Simonne et al., 2024). En consecuencia, se recomienda el uso de la proporción 1:2 (T3) como el punto óptimo de manejo, ya que integra el mayor porcentaje de germinación acumulada a los 13 días (90%) entre las mezclas orgánicas, un crecimiento de 13,8 cm al día 14 y el mayor número de hojas (4,4). Si bien T1 (sedimento puro) registró el mayor crecimiento en todas las variables evaluadas, su exclusión como tratamiento recomendado se justifica porque carece de aporte nutricional orgánico y no es compatible con los objetivos de producción de cacao orgánico certificable. En consecuencia, T3 equilibra la tendencia decreciente de la regresión con una base nutricional adecuada para el desarrollo sostenible a largo plazo (Torres Castillo et al., 2025).

Tabla 4. Resultados del crecimiento y agrupación de Tukey al día 14.  
Table 4. Tukey growth and clustering results on day 14.

| C1 (Tratamiento) | N | Media   | Agrupación |
|------------------|---|---------|------------|
| T1               | 3 | 15.6000 | A          |
| T3               | 3 | 13.8000 | B          |
| T4               | 3 | 13.6000 | B          |
| T2               | 3 | 13.2000 | C          |
| T5               | 3 | 11.6000 | D          |

4. Conclusiones

La investigación demuestra que el uso de humus derivado de bovinaza y lechuguín (*Eichhornia crassipes*) constituye una alternativa técnica viable para la producción de CNFA, siempre que se manejen proporciones equilibradas con sedimento; por lo que, se concluye que, aunque el humus ofrece el mayor contenido de macronutrientes, su aplicación directa inhibe el periodo inicial de la germinación. Por lo tanto, la mezcla en relación 1:2 (T3) es la más eficiente, al presentar la mayor germinación acumulada entre las mezclas orgánicas a los 13 días (90%), un crecimiento competitivo de 13,8 cm al día 14 y el mayor número de hojas (4,4); mientras que el T1, aunque superior en crecimiento inicial, carece de aporte orgánico y no

es compatible con la certificación de producción de cacao orgánico.

La seguridad ambiental del protocolo de producción de humus queda validada por la baja presencia de metales pesados en los sustratos finales, los cuales se mantienen significativamente por debajo de los límites permisibles de fitotoxicidad; de tal manera que, el hallazgo más relevante radica en la capacidad de la mezcla orgánica para estabilizar el cadmio a niveles traza, garantizando que el material vegetal producido en la Finca La Pastora Sol sea apto para programas de certificación orgánica y exportación. Estos resultados establecen una base científica para el aprovechamiento de biomasa acuática invasora, transformándola de un problema ambiental en un recurso estratégico para la fertilización sostenible del cultivo de cacao.

Contribuciones de los autores

- Ever Darío Morales Avendaño: conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto,
- recursos, software, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original, redacción, revisión y edición.
  - Melany Pierina Bravo Cedeño: investigación, curación de datos, redacción – borrador original.

- Aldrin Dairy Monero Veliz: investigación, recursos, visualización.
- Rodolfo Jeampier Plaza Choez: software, análisis formal, validación.
- María Fernanda Vines Pin: redacción – revisión y edición, validación, adquisición de fondos.
- Cesar Xavier Palacios Tapia: investigación, redacción.
- Manuel Ángel Vélez Sabando: investigación, metodología.

## Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

## Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

## Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## Referencias

- Acuerdo Ministerial 097/A. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). Registro Oficial Edición Especial N° 387, 4 de noviembre de 2015 (Ecuador). <https://app.vlex.com/vid/645825397>
- Adet, L., Rozendaal, D. M. A., Zuidema, P. A., Vaast, P., y Anten, N. P. R. (2024). Cocoa tree performance and yield are affected by seasonal rainfall reduction. *Agricultural Water Management*, 302, 108995. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108995>
- Allen, S. L., Robayo, L. A., Martin, C. D., y Ganem, J. L. (2024). Productivity, Soil Health, and Tree Diversity in Dynamic Cacao Agroforestry Systems in Ecuador. *Land*, 13(7), 959. <https://doi.org/10.3390/land13070959>
- Alvarado Zamora, H. W., y Ramos Remache, R. A. (2024). Impacto del humus de lombriz y algas marinas en la producción de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/7215>
- Alvarez Ticllasuca, A., Gutiérrez Collao, J. E., Meza Calixto, A. A., y Murga Tirado, C. E. (2022). Efecto de abonos foliares líquidos orgánicos en la calidad de plantones de cedro colorado (*Cedrela Odorata* L.), en fase de vivero. *Llamkasun*, 3(2), 50–65. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i2.106>
- Amador Sacoto, C., Alvarado Barzallo, A., Farah Asang, S. E., y Martillo Garcia, J. J. (2022). Caracterización morfológica del cacao nacional "*Theobroma cacao* L." del cantón Naranjal, Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(4), 80–97. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.978>
- Avila Pedraza, E. A. (2025). *Propiedades físicas de los suelos y su importancia en el desarrollo de cultivos*. Caza de Libros Editores. <https://cazadelibros.com/producto/propiedades-suelos-desarrollo-cultivos/>
- Batista-Sánchez, D., Murillo Amador, B., Ojeda-Silvera, C. M., Nieto-Garibay, A., Mazón-Suástegui, J. M., y López-Corona, B. (2024). Actividad de un bioestimulante en la tasa fotosintética y contenido de clorofila de *Ocimum basilicum* L. sometida a estrés por NaCl. *Biotechnia*, 26, e2301. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v26.2301>
- Buritica, F., Vanegas, J. I., y Suárez, J. C. (2025). Influence of soil physical and hydraulic properties on cacao productivity under agroforestry systems in the Amazonian piedmont. *Agriculture*, 15(18), 1973. <https://doi.org/10.3390/agriculture15181973>
- Cardoza-Viera, A., Arévalo-Valladolid, D., Javier-Alva, J., Peña-Castillo, R., Chanduvi-García, R., Quiroz-Calderón, M., Álvarez-Bernaola, L., Galecio-Julca, M., Calero-Merino, M., y Morales-Pizarro, D. A. (2024). Sustratos orgánicos alternos en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de vivero. *Revista Terra Latinoamericana*, 42, e1867. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1867>
- Chancay Alcívar, L. F., Delgado Demera, M., y Salas Macías, C. A. (2022). Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y sus efectos ambientales. *La Técnica*, (Edición Especial), 91-110. [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i0.4324](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4324)
- Domínguez, J., Lazcano, C., y Gómez-Brandón, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 359–371. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262900>
- García Gutiérrez, C., y Félix Herrá, A. (2014). *Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales*. Fundación Produce Sinaloa, A.C. <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/104-sustentabilidad/1628-manual-para-la-produccion-de-abonos-organicos-y-biorracionales>
- Gracia Valenzuela, M. H., Melendrez Cárdenas, F. G., García Urías, J. C., García Madero, C. V., García Cabanillas, C. Y., y Arias-Moscote, J. L. (2019). Efecto de diversos lombríhumus en la germinación de semillas y desarrollo de trasplantes de hortalizas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2), 168-177. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/146>
- Gutiérrez, I. Z., Rivas Rocha, M., Rodríguez Alejandre, J., Yáñez Brambila, R., y Saenz Rodríguez, M. I. (2025). Diseño de comprimidos de abono orgánico de liberación lenta con acción fungicida-insecticida para combatir plagas y fortalecer el suelo. *Ibero Ciencias - Revista Científica y Académica*, 4(4), 4478–4493. <https://doi.org/10.63371/ic.v4.n4.a586>
- International Cocoa Organization [ICCO]. (2024). *Fine flavour cocoa*. ICCO. <https://www.icco.org/fine-or-flavor-cocoa/>
- Jaimes-Suárez, Y. Y., Carvajal-Rivera, A. S., Galvis-Neira, D. A., Carvalho, F. E. L., y Rojas-Molina, J. (2022). Cacao agroforestry systems beyond the stigmas: Biotic and abiotic stress incidence impact. *Frontiers in Plant Science*, 13, 921469. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.921469>

- Jaume, D. F., Souto, C. P., y Tadey, M. (2023). Herbivoría y sequía en el Monte: Factores de estrés que afectan el crecimiento y el ataque de insectos en hojas y semillas de una especie forrajera. *Ecología Austral*, 33(1), 074–088. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.1929>
- Jones, D. L., Cooledge, E. C., y Chadwick, D. R. (2025). Is one year enough? A commentary on field experiment duration in agricultural research. *Agricultural Systems*, 228, 104393. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104393>
- López Jerves, G. N. (2012). *Aprovechamiento del Lechuguín («Eichhornia crassipes») para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1938>
- Luna-Fletes, J. A., Mancilla-Villa, O. R., Cruz-Crespo, E., Can-Chulím, Á., Martínez-Rodríguez, O. G., y Guevara-Gutiérrez, R. D. (2025). Enmiendas orgánicas en las características edáficas y el rendimiento de melón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(5), e3773. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i5.3773>
- Maddock, J. E., Santos, M. B., y Marinho, R. S. (1988). *Eichhornia crassipes* as a biological monitor of heavy metals in surface waters. En U. Seeliger, L. D. De Lacerda, y S. R. Patchineelam (eds.), *Metals in Coastal Environments of Latin America* (pp. 276–285). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-71483-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-642-71483-2_24)
- Mendoza Intríago, D. A., Mero Rosado, V. F., y Alcívar Arteaga, B. R. (2024). Influencia del humus de lombriz en la calidad de los suelos agrícolas: Un estudio de caso. *Didasc@lia: Didáctica y Educación*, 15(3), 388–404. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9692644>
- Meza, N., Arizaleta, M., y Bautista, D. (2007). Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 69–80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2284576>
- Minitab, LLC. (2026). Herramientas estadísticas, de análisis de datos y de mejora de procesos | Minitab. <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Mollericon Alfaro, M. D., Laimé Calle, E. E., y Merma Santos, E. A. (2022). Estimación no destructiva del área foliar en plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) a partir de mediciones lineales en la hoja, Estación Experimental Sapecho. *Apthapi*, 8(1), 2310–2319. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/120>
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and analysis of experiments* (8a ed.). John Wiley & Sons.
- Muñoz-Rengifo, J. C., Rojas, J. L. A., Almeida, J. F., Rengifo, M. G. H., y Navarrete, S. B. T. (2024). Efecto de abonos orgánicos complementados con fertilizantes foliares químicos sobre la morfología del cultivo *Hibiscus esculentus* Linn en la Amazonía ecuatoriana. *Siembra*, 11(2), e5790. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.5790>
- Murillo Montoya, S. A., Mendoza Mora, A., y Fadul Vásquez, C. J. (2019). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *La Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustrial*, 7(1), 58–68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Navia-Bermello, R. X., Intríago-Flor, F. G., y Dueñas-Rivadeneira, J. P. (2025). Contenido de metales pesados en suelos cultivados de cacao de fincas con manejo convencional de la provincia de Manabí. *MQRInvestigar*, 9(2), e479. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.9.2.2025.e479>
- Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellon, L. F., Torres-Lozada, P., Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellon, L. F., y Torres-Lozada, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(1), 31–42. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432017000100031](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000100031)
- Palma, D., Salgado, S., y Sanchez, T. (2018). Nutrición orgánica en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco, México. (2018). *Agro Productividad*, 9(12), 39–44. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/859>
- Pineda Pineda, J., Moreno Roblero, M. de J., Colinas León, Ma. T., y Sahagún Castellanos, J. (2020). El oxígeno en la zona radical y su efecto en las plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 931–943. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2128>
- Quevedo Guerrero, J., Pontón, A., Tuz, I., y García Batista, R. (2020). Evaluación de la aplicación de fertilizante al pseudotallo de plantas cosechadas de banano (*Musa x paradisiaca* L.) y su efecto en la velocidad de crecimiento del hijo retorno. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 190–197. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/300>
- Quinde Melo, L. C. (2024). Efectos de sustratos para la germinación de semillas escarificadas de tagua (*Phytelphas aequatorialis*) en vivero cantón Durán, provincia del Guayas. Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraría.edu.ec/Archivos/QUINDE%20MELO%20LUIS%20CARLOS.pdf>
- Reyes-Pérez, J. J., Luna-Murillo, R. A., Zambrano-Burgos, D., Vázquez-Morán, V. F., Rodríguez-Pedroso, A. T., Ramírez-Arrebató, M. Á., Guzmán-Acurio, J. A., González-Rodríguez, J. C., y Torres-Rodríguez, J. A. (2018). Efecto de abonos orgánicos en el crecimiento y rendimiento agrícola de la berenjena (*Solanum melongena* L.). *Biotechnia*, 20(1), 8–12. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v20i1.523>
- Rivas-Nichorzon, M., y Silva-Acuña, R. (2020). Calidad Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *CIENCIA UNEMI*, 13(32), 87–100. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss32.2020pp87-100p>
- Ruiz Flores, D.S. (2025). *Efecto del compost en la producción de plántulas de cacao (Theobroma cacao L.)*. Escuela Profesional de Agropecuaria y Desarrollo Sostenible. <https://hdl.handle.net/20.500.14039/12445>
- Schmidt, J. E., Flores, J., Barragan, L., Amores, F., y Khalsa, S. D. S. (2025). Optimizing cocoa productivity through soil health and microbiome enhancement: insights from organic amendments and a locally derived biofertilizer. *Microorganisms*, 13(6), 1408. <https://doi.org/10.3390/microorganisms13061408>
- Simonne, E., Sierra, A., Sanchez-Jones, T., y Treadwell, D. (2024). *Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas* (HS1102/HS356). University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS). <https://ask.ifas.ufl.edu/publication/HS356>
- Torres Castillo, R. M., Bustamante Cuenca, J. C., Cabezas Andrade, L. D., Zabala Vizueté, R. F., Zurita Quishpe, C. Y., Ochoa Cordero, J. K., y Vizueté Montero, M. O. (2025). Ciclo de vida del cacao con economía circular en la Amazonía ecuatoriana. *CIENCIA UNEMI*, 18(48), 39–49. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol18iss48>

2025pp39-49p

- Vences-Martínez, J. A., Cortés-Espino, A., Lungo-Rodríguez, J. A., y Bello-Martínez, I. (2025). Análisis exploratorio de parámetros fisicoquímicos, macronutrientes y micronutrientes en abonos orgánicos foliares, Guerrero, México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(5), 13849–13865. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i5.20548](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5.20548)
- Wang, Z., Großkinsky, D. K., Li, D., y Zheng, W. (2024). Editorial: Physiological and molecular mechanisms of important agronomic traits in plants under various abiotic factors. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1502061. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1502061>
- Zahid, M., Shakeel, A., Aslam, D., Abbas, Q., Ali, B., Niaz, Y., Iqbal, J., Çiğ, F., Erman, M., Akdeniz, H., Islam, M. S., Iqbal, M. A., Ratnasekera, D., Konuşkan, Ö., y El Sabagh, A. (2025). Physio-chemical and molecular characterization of salinity stress in wheat: mitigation approaches and future perspectives. *OBM Genetics*, 9(4), 1-26. <https://doi.org/10.21926/obm.genet.2504316>
- Zeeshan Manzoor, M., Sarwar, G., Ibrahim, M., Rehan, S. S., Hasnain, Z., Rais, A., Gul, S., Alfagham, A. T., Manono, B. O., Mehmood, K., y Khan, S. (2024). Remediation quantum of organic amendments to immobilize potentially toxic heavy metals in wastewater-contaminated soils through maize cultivation. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1420705. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1420705>
- Zender Peña, V., Córdova Barrios, I. C., Pari Olarte, J. B., Loyola Gonzales, E., y Ambia Pereyra, D. E. (2025). Presencia de metales pesados en suelos del cauce del río Ica en temporada seca. *Revista Alfa*, 9(26), 450-464. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.358>