

Fecha de recibido: 21-08-2025
Fecha de aceptado: 01-12-2025
DOI: 10.22490/21456453.10142

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LAS EXCRETAS PORCINAS, COMO ABONO ORGÁNICO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁN- TULAS DE *THEOBROMA CACAO*

ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF SWINE EXCRETA AS ORGANIC FERTILIZER IN THE PRODUCTION OF *THEOBROMA CACAO* SEEDLINGS

Fredy Cuéllar-Yustres¹
Manuel Francisco Polanco-Puerta²

Citación: Cuéllar-Yustres y Polanco-Puerta. (2026). Análisis del potencial de las excretas porcinas, como abono orgánico en la producción de plántulas de *Theobroma cacao*. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 17 (2), 67–87. <https://doi.org/10.22490/21456453.10142>

¹Ingeniero Industrial, Especialista en Gerencia Logística y Cadenas de Suministros.
Universidad de Manizales, maestrando en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. fredycue-
llaryustres@gmail.com

²Ph. D. en Desarrollo Sostenible: Economía, Sociedad y Medio Ambiente
Universidad de Manizales. mpolanco@umanizales.edu.co

RESUMEN

Contextualización: El municipio de Tesalia, se encuentra ubicado al occidente del departamento del Huila, en Colombia; allí se destacan el ganado porcino (*Sus scrofa domesticus*), vacuno (*Bos taurus*) y cultivos como el cacao (*Theobroma cacao*) y el café (*Coffea arabica*), todos con un alto potencial agroecológico.

Vacío de conocimiento: Aunque existe un desarrollo económico, este no es sostenible, lo cual se evidencia en el desconocimiento de los productores cacaoteros y porcícolas, cuyas actividades generan contaminación en los suelos en diferentes veredas del municipio,

Propósito: El objetivo de esta investigación fue analizar el potencial de las excretas porcinas y de los residuos de poscosecha de *Theobroma cacao* en la elaboración de abono orgánico para la nutrición de plántulas del cultivo de cacao en el municipio de Tesalia, Huila.

Metodología: Mediante un proceso de compostaje se elaboraron mezclas con distintas proporciones de porcínaza y residuos de cacao, conformando cuatro tratamientos experimentales con tres repeticiones cada uno. Se caracterizó el abono compostado a través de análisis fisicoquímicos y se evaluaron variables morfofisiológicas en 144 plántulas, tales como altura, número de hojas,

diámetro del tallo, y peso fresco y seco de la parte aérea y radicular.

Resultados y conclusiones: Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose el T4 (75 % excretas porcinas y 25 % residuos de cacao), por su mayor aporte nutricional y mejor desempeño en el crecimiento vegetal. Adicionalmente, el análisis económico evidenció que el costo de producción del abono orgánico y de las plántulas es competitivo frente a fertilizantes comerciales, representando una alternativa viable para pequeños productores. El compost obtenido cumple con parámetros establecidos en la normativa nacional para fertilizantes orgánicos, fortaleciendo su potencial de escalamiento como insumo agroecológico y de negocio verde. Este estudio resalta la importancia de integrar prácticas agroecológicas y de economía circular en territorios con vocación agrícola y pecuaria, promoviendo el aprovechamiento eficiente de residuos, la reducción de impactos ambientales negativos y la mejora en la productividad cacaotera. Asimismo, contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, en particular el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima).

Palabras clave: abono orgánico, almálico, compostaje, porcínaza, sostenibilidad.

ABSTRACT

Contextualization: The municipality of Tesalia, Huila, is located in the western part of the department, Colombia; within this area, pigs (*Sus scrofa domesticus*), cattle (*Bos taurus*) and crops such as cocoa (*Theobroma cacao*) and coffee (*Coffea arabica*) stand out. All with high agroecological potential.

Knowledge gap: Although there is economic development, it is not sustainable, as evidenced by the lack of knowledge among cocoa and pork producers, whose activities generate soil contamination in different areas of the municipality,

Objective: To analyze the potential of swine excreta and post-harvest residues of *Theobroma cacao* in the preparation of organic fertilizer for the nutrition of cacao seedlings in the municipality of Tesalia, Huila.

Methodology: By means of a composting process, mixtures were prepared with different proportions of swine manure and cocoa residues, forming four experimental treatments with three replicates each. The composted fertilizer was characterized through physicochemical analysis, and morphophysiological variables were evaluated in 144 seedlings, such as height, number of leaves, stem diameter, and fresh and dry weight of the aerial and root parts.

Results and conclusions: The results showed significant differences among the treatments, with T4 (75% swine excreta and 25% cocoa waste) standing out for its higher nutritional contribution and better performance in plant growth. In addition, the economic analysis showed that the production cost of organic fertilizer and seedlings is competitive with commercial fertilizers, representing a viable alternative for small producers. The compost obtained complies with the parameters established in the national regulations for organic fertilizers, strengthening its potential for scaling up as an agroecological and green business input. This study highlights the importance of integrating agroecological and circular economy practices in territories suitable for agricultural and livestock activities, promoting the efficient use of waste, reducing negative environmental impacts and improving cocoa productivity. It also contributes to the achievement of the Sustainable Development Goals, in particular SDG 12 (Responsible Consumption and Production) and SDG 13 (Climate Action).

Keywords: organic fertilizer, seedbeds, composting, pig manure, sustainability.

RESUMEN GRÁFICO



1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Theobroma cacao* constituye una de las actividades agrícolas de mayor importancia socioeconómica en Colombia, no solo por su aporte a la seguridad alimentaria y la generación de ingresos para pequeños productores, sino también por su potencial en mercados internacionales que reconocen la calidad del cacao fino de aroma. El departamento del Huila ocupa el quinto lugar en producción nacional, con

aproximadamente 4.192 toneladas anuales en 12.300 hectáreas cultivadas, lo que representa cerca del 8 % de la producción total del país (MinAgricultura, 2021). El municipio de Tesalia, localizado al occidente del Huila, cuenta con condiciones agroecológicas favorables, tanto para la producción de cacao como para la porcicultura, lo que abre oportunidades para la articulación de ambas actividades en un modelo productivo sostenible.

No obstante, el cacao enfrenta limitaciones crecientes asociadas al cambio climático y a la degradación de los suelos, factores que inciden negativamente en el rendimiento y la calidad del grano (Tapia Jara, 2021). Paralelamente, la actividad porcina genera grandes volúmenes de excretas que, al no ser manejadas adecuadamente, ocasionan impactos ambientales como malos olores, contaminación de fuentes hídricas y emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2015; Lobato Calderón, 2023). Esta dualidad plantea la necesidad de enfoques integrados que conviertan los residuos en recursos productivos, bajo esquemas de economía circular y agroecología.

En este contexto, el aprovechamiento de excretas porcinas y residuos de poscosecha de cacao mediante procesos de compostaje se perfila como una alternativa estratégica para mejorar la nutrición de plántulas en viveros, reducir la dependencia de fertilizantes químicos y mitigar los impactos ambientales. El presente estudio se enmarca en las políticas nacionales e internacionales de sostenibilidad, como la “Resolución 150 de 2003 del ICA”, Instituto Colombiano Agropecuario, que regula los fertilizantes y acondicionadores de suelos, y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en especial el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima).

De este modo, se busca no solo evaluar el desempeño agronómico del abono orgánico obtenido, sino también ofrecer lineamientos técnicos y económicos que fortalezcan los sistemas productivos locales y promuevan la generación de negocios verdes. Esta in-

vestigación se presenta, por tanto, como un aporte pertinente a la innovación agroecológica en la región, con impactos positivos para los productores de cacao y porcicultores, así como para la gestión sostenible de los recursos naturales.

El uso de abonos orgánicos ha cobrado relevancia en la agricultura sostenible como alternativa a los fertilizantes químicos, debido a sus beneficios sobre la fertilidad del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la reducción de impactos ambientales (Román et al., 2013; Castillo, 2022). Diversos estudios han demostrado que los residuos pecuarios, en particular las excretas porcinas, tienen un alto potencial como materia prima para la elaboración de compostajes ricos en nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes esenciales (Borges-Gómez et al., 2003). El compostaje de excretas, cuando se combina con residuos agrícolas como los de poscosecha de cacao, permite obtener un sustrato equilibrado que mejora el desarrollo de plántulas en viveros, optimizando variables como altura, número de hojas y biomasa (Rada Mallqui, 2023).

Desde la perspectiva agroecológica, estas prácticas buscan mejorar la productividad, regenerando los ecosistemas y fortaleciendo la resiliencia de los sistemas agroalimentarios (León Sicard, 2021; Schnitman, 2015). Asimismo, se enmarcan en los principios de la economía circular, al promover el aprovechamiento eficiente de los residuos y la reducción de la dependencia de insumos externos (McDonough & Braungart, 2005; Raworth, 2018).

En Colombia, la normativa reconoce la importancia de regular la producción y uso de insumos agrícolas sostenibles. Inicialmente, la Resolución 150 de 2003 del ICA (ICA, 2003) estableció los requisitos para la producción y comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelos. Posteriormente, la Resolución 068370 de 2020 del ICA (ICA, 2020) definió los criterios para la clasificación, producción y registro de bioinsumos, entre los cuales se incluyen biofertilizantes, bioestimulantes y otros productos de origen biológico u orgánico. Esta resolución impulsa la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles, garantizando la calidad, seguridad y eficacia de los insumos, así como su articulación con la política nacional de negocios verdes y los objetivos de desarrollo sostenible.

En este contexto, el compost elaborado a partir de excretas porcinas y residuos de cacao se enmarca en la categoría de bioinsumos orgánicos, con potencial para ser registrado y escalado conforme a la normatividad vigente del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Este tipo de insumo no solo garantiza validez técnica y legal, sino que también fomenta su adopción entre pequeños productores al fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agroproductivos mediante el aprovechamiento responsable de los residuos porcinos.

El uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura sostenible ha sido ampliamente promovido por diversos autores, quienes destacan su aporte a la salud del suelo y a la reducción de riesgos ambientales y sanitarios asociados al uso de fertilizantes qu-

ímicos (Kastillo, 2022). De igual manera, Borges-Gómez et al. (2003) demostraron que las excretas porcinas, combinadas con residuos agrícolas, mejoran la disponibilidad de macroelementos y favorecen el desarrollo de plántulas. En el caso del cacao, estudios como el de Rada Mallqui (2023) han evidenciado incrementos en variables de crecimiento —altura, número de hojas y biomasa— mediante la aplicación de biofertilizantes orgánicos durante la fase de vivero.

Estas estrategias fortalecen la sostenibilidad productiva y se alinean con los modelos de economía regenerativa y “de la cuna a la cuna” propuestos por McDonough & Braungart (2005) y por Raworth (2018). En este sentido, la transformación de las excretas porcinas en compost representa una alternativa técnica viable para reducir la dependencia de insumos sintéticos y avanzar hacia sistemas agroproductivos más sostenibles. Como se observa en la presente investigación, se desea dar un segundo uso productivo a las excretas porcinas, cambiando estas de residuo a fertilizante orgánico aplicado a las plántulas de cacao, en las cuales se evalúa su crecimiento.

El objetivo de esta investigación fue analizar el potencial de las excretas porcinas y de los residuos de poscosecha de *Theobroma cacao* en la elaboración de abono orgánico para la nutrición de plántulas del cultivo de cacao en el municipio de Tesalia, Huila. Este análisis busca realizar la caracterización físico-química del abono orgánico obtenido del compostaje del estiércol del ganado porcino junto con los residuos de cosecha, así como evaluar el efecto de las mezclas de las excre-

tas derivadas del ganado porcino y los residuos de cosecha y del cacao en la elaboración de un abono compostado para fertilizar plántulas de cacao en su fase de almácigo. A

través de este trabajo, se pretende potenciar estrategias para la producción agroecológica de plántulas de cacao, en su fase de almácigo sobre el área de estudio.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: La investigación se desarrolló en el municipio de Tesalia, departamento del Huila, Colombia, ubicado en las coordenadas geográficas 2°30'3.63"N y longitud 75°44'56.15" O (WGS84). El área corresponde a un entorno rural con condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de *Theobroma cacao* y la producción porcina. Presenta temperaturas promedio entre 22 °C y 30 °C, humedad relativa entre el 70 % y el 80 %, en una altitud de aproximadamente 1071 m s. n. m., con disponibilidad de fuentes de agua y sombra natural.

Materia vegetal: Se emplearon plántulas de cacao clon IMC 67, variedad reconocida por su vigor y adaptabilidad, ampliamente utilizada en viveros de la región. Las plántulas fueron obtenidas a partir de semilla certificada adquirida en viveros locales avalados por Fedecacao. El material correspondía a plántulas recién germinadas (10 días de emergencia), trasplantadas a bolsas de polietileno de 14 x 28 cm para su etapa de almácigo. Durante el ensayo se realizaron labores culturales uniformes: riego diario en la mañana, control manual de malezas y protección física con polisombra al 50 %. No se aplicaron fertilizantes químicos comple-

mentarios, con el fin de evaluar únicamente el efecto del compost en estudio.

Diseño experimental: Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Cada repetición estuvo conformada por 12 plántulas, para un total de 144 unidades experimentales (4 tratamientos × 3 repeticiones × 12 plántulas).

- **Tratamiento control (T0):** mezcla de suelo agrícola con abono orgánico comercial tipo *bocashi*, empleada en la zona por los productores.
- **Tratamientos experimentales (T1–T4):** compost elaborado con distintas proporciones de excretas porcinas y residuos de cacao.

La elección de los porcentajes respondió a ensayos previos reportados en la literatura (Borges-Gómez et al., 2003; Rada Mallqui, 2023) y a criterios de disponibilidad de materia prima en el área de estudio, buscando representar escenarios desde la exclusividad de residuos de cacao hasta la predominancia de excretas porcinas. Lo cual se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Diseño experimental y distribución de los tratamientos

Tratamiento	Residuos de cacao (%)	Excretas porcinas (%)	Justificación
T1	100	0	Control con solo residuos de cacao.
T2	75	25	Proporción baja de porcinaza para enriquecer el sustrato.
T3	50	50	Proporción balanceada de ambos residuos.
T4	25	75	Mayor carga de porcinaza para evaluar respuesta a alta disponibilidad de N.

Fuente: autores.

Compostaje y análisis fisicoquímico: El compostaje se realizó en pilas estáticas con volteo manual semanal durante 60 días, controlando la humedad al 60 %. Una vez finalizado el proceso, se recolectaron muestras compuestas por tratamiento para su análisis

en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Corhuila.

Los parámetros evaluados y la norma técnica Icontec aplicada se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Norma técnica aplicada

Parámetro	Norma técnica aplicada (Icontec)
pH	NTC 5264:2023 – Determinación de pH en suelos
Conductividad eléctrica (CE)	NTC 5349:2016 – Bases cambiables, método acetato de amonio
Carbono orgánico total (COT)	NTC 5403:2021 – Determinación de carbono orgánico
Materia orgánica (MO)	Método Walkley & Black (Icontec, 2014)
Nitrógeno total	Método Kjeldahl – AOAC
Fósforo disponible	NTC 5350:2020 – Determinación de fósforo en suelos
Micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, B)	Métodos estándar de absorción atómica Icontec

Fuente: autores.

El análisis se realizó al finalizar el proceso de compostaje (día 60). No se efectuó análisis inicial de la materia prima, por lo que los

resultados se interpretan de manera absoluta, comparando tratamientos.

Siembra y aplicación del compost: Las plántulas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno de 14 x 28 cm, con un sustrato compuesto por 50 % de tierra negra y 50 % del abono (1 kg de cada componente). La inoculación del compost se hizo en el momento de la siembra, garantizando la homogeneidad del sustrato. No se realizaron aplicaciones adicionales durante los 90 días de evaluación. El manejo incluyó riego diario (200 ml por bolsa), control manual de malezas y cobertura ligera para evitar insolación directa.

Variables evaluadas: Durante 90 días se registraron cada 30 días las siguientes variables: altura de plántula (cm), número de hojas, diámetro de tallo (mm), peso fresco y seco de la parte aérea y de la raíz. Estas variables se seleccionaron porque permiten evaluar diferencias tempranas en la etapa de almácigo, donde el crecimiento inicial es crítico para el éxito en vivero, aun tratándose de un cultivo perenne. En cada periodo se muestrearon 12 plántulas por tratamiento, con tres repeticiones, para un total de 36 plántulas evaluadas por tratamiento.

Análisis estadístico: Los datos fueron procesados en RStudio. Se verificó la normalidad con Shapiro-Wilk, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias con Tukey ($p < 0,05$). Asimismo, se aplicó un análisis de correlación de Pearson entre las variables morfofisiológicas y los parámetros fisicoquímicos del compost, con el fin de identificar relaciones directas entre la composición del abono y el desempeño de las plántulas.

Evaluación económica y proyección agroecológica: Se realizó un análisis económico comparativo entre el abono orgánico producido y el fertilizante comercial de uso frecuente en la zona. Además, se estimaron los costos unitarios de producción de plántulas bajo el esquema experimental y se evaluó el potencial de escalamiento como negocio verde en el marco de la Resolución 150 de 2003 del ICA. Finalmente, se formularon estrategias para la transferencia del conocimiento y la articulación con planes de desarrollo local y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis fisicoquímico del compost: El compostaje de excretas porcinas y residuos de cacao generó abonos con características diferenciadas (Tabla 3). Se evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y nitrógeno total. El tratamiento T2 presentó los valores más altos de materia orgánica (25,83 %) y nitrógeno total

(1,29 %), mientras que la mezcla con mayor proporción de excretas porcinas (T4) alcanzó un pH cercano a la neutralidad (7,58) y evidenció mayor estabilidad química. Estos resultados confirman que la composición inicial de los residuos y la proporción de porcina influyen directamente en la calidad final del compost.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del compost en los tratamientos experimentales

Tratamiento	pH	Conductividad	COT %	M O	Nitrógeno %
1	8,83 ^a	2,810 ^a	14,67 ^a	25,29 ^a	1,26 ^a
2	8,77 ^a	2,230 ^a	14,99 ^a	25,83 ^a	1,29 ^a
3	8,36 ^a	1,944 ^a	14,73 ^a	25,40 ^a	1,27 ^a
4	7,58 ^a	1,416 ^a	8,02 ^a	13,82 ^a	0,69 ^a

Fuente: autores.

Los resultados de bases cambiables y micronutrientes (Tabla 4) mostraron aportes variables, según la proporción de residuos. El tratamiento con mayor proporción de excretas porcinas presentó las concentraciones más altas de hierro, cobre, zinc y mangane-

so, evidenciando una mayor riqueza mineral del compost. Aunque no se realizó una comparación con el análisis inicial de los residuos, la presencia de estos micronutrientes en niveles adecuados confirma el potencial del producto como insumo agroecológico.

Tabla 4. Contenido mineral del compost por tratamiento

Tratamiento	Potasio (ppm)	Fósforo (ppm)	Calcio (ppm)	Magnesio (ppm)	Azufre (ppm)	Sodio ppm	Boro (ppm)	Hierro (ppm)	Cobre (ppm)	Zinc (ppm)	Manganeso (ppm)
1	127,41	73,5	696,38	1984,8	790,31	377,2	44,67	57,2	3,88	44,74	62
2	155,38	72,9	898,78	1771,8	267,92	301,3	23,13	55,8	5,36	58,74	56,8
3	215,32	68,03	1106,8	1136,52	121,92	285,2	14,38	61,2	6,62	67,18	61
4	169,61	65,3	2748	1566,84	267,82	55,2	5,59	67	12,23	98,95	89,6

Fuente: autores.

Con respecto al análisis de composición física, los cuatro tratamientos presentaron una clase textural franco-arenosa.

Crecimiento de plántulas de cacao: Durante los 90 días de evaluación, las plántulas mostraron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en todas las variables medidas (altura, diámetro, número de hojas, peso fresco y seco). El tratamiento con menor

porcentaje de residuos de cacao destacó con los valores más altos:

- Altura: $30,61 \pm 1,2$ cm
- Diámetro de tallo: $4,07 \pm 0,3$ mm
- Número de hojas: $12,58 \pm 0,6$
- Peso seco de raíz: 15,56 g

En contraste, T1 (100 % de residuos de cacao) presentó los valores más bajos en todas las variables.

La figura 1 muestra un incremento progresivo de la altura de las plántulas en todos los tratamientos a medida que avanza el tiempo de muestreo, evidenciando un crecimiento continuo durante el periodo evaluado. Se observa que el tratamiento T4 alcanzó las mayores alturas al final del experimento, seguido por T3, T2 y T1, lo que sugiere una

mayor eficacia de T4 para promover el crecimiento longitudinal de las plántulas. Asimismo, las diferencias entre tratamientos se hacen más evidentes en los últimos muestreos, indicando que el efecto de los tratamientos sobre la altura se intensifica con el tiempo. Estos resultados reflejan una respuesta diferencial de las plántulas a las condiciones evaluadas, favoreciendo particularmente el desarrollo vegetativo en T4.

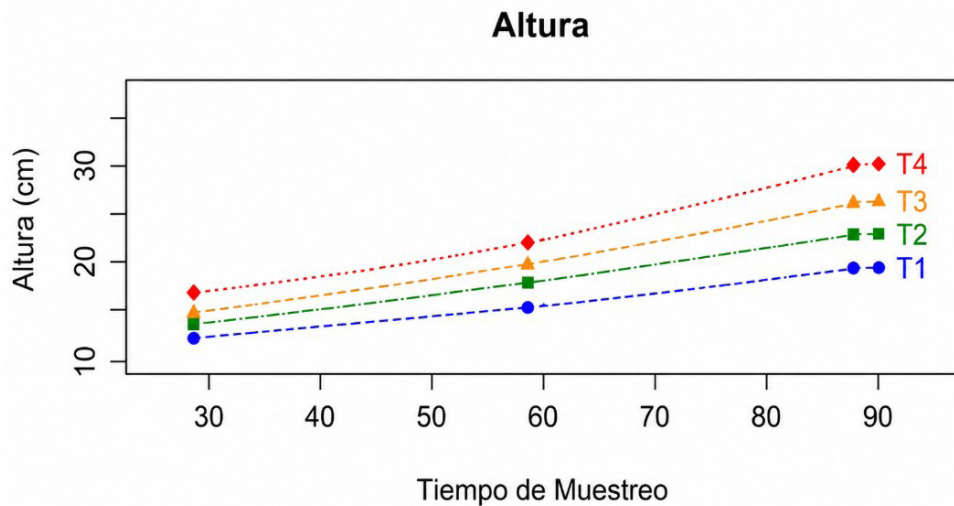


Figura 1. Crecimiento de las plántulas – Altura

Fuente: autores.

La figura 2 evidencia un aumento gradual del diámetro del tallo en todos los tratamientos durante el periodo de evaluación, lo que indica un adecuado desarrollo estructural de las plántulas. El tratamiento T4 presentó los mayores valores de diámetro en cada muestreo, seguido por T3, T2 y T1, manteniendo una tendencia consistente a lo largo del estudio. Las diferencias entre tratamientos se

incrementaron con el tiempo, especialmente en la última medición, sugiriendo que los efectos de los tratamientos sobre el engrosamiento del tallo fueron acumulativos. Estos resultados indican que T4 favoreció de manera más eficiente el crecimiento radial de las plántulas, contribuyendo potencialmente a una mayor vigorosidad y estabilidad de las plantas.

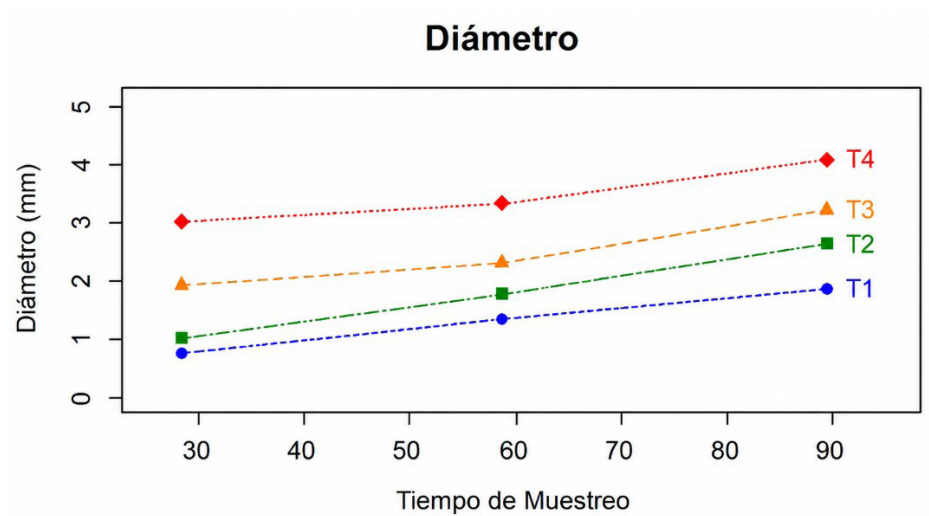


Figura 2. Crecimiento de las plántulas – Diámetro del tallo

Fuente: autores.

La figura 3 muestra un incremento sostenido en el número de hojas de las plántulas a lo largo del periodo de evaluación, lo que evidencia una adecuada expansión del área foliar y un crecimiento vegetativo activo. El tratamiento T4 registró consistentemente los valores más altos durante todos los muestreos, seguido por T3, T2 y T1. Las diferencias entre tratamientos fueron más no-

torias en la evaluación final, donde T4 presentó una mayor emisión de hojas respecto a los demás tratamientos. Estos resultados sugieren que el tratamiento T4 promovió de manera más eficiente el desarrollo foliar, favoreciendo potencialmente una mayor capacidad fotosintética y, por consiguiente, un mejor desempeño en el crecimiento de las plántulas.

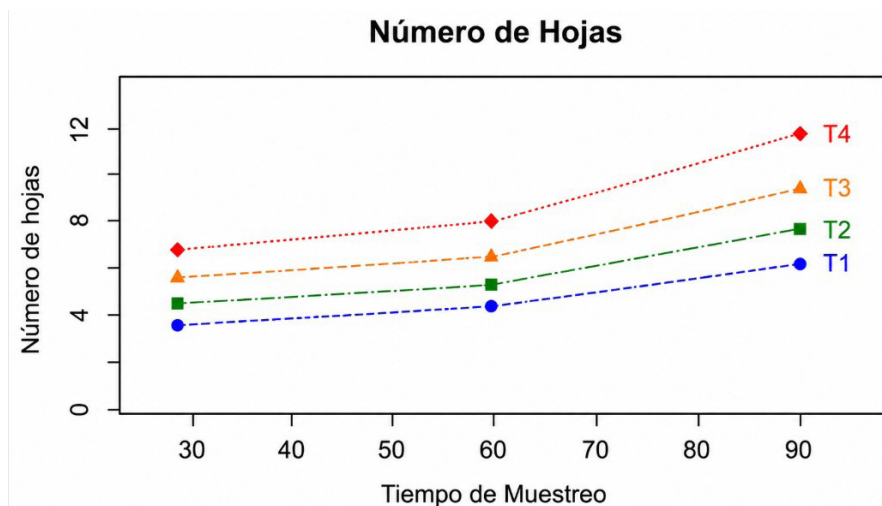


Figura 3. Crecimiento de las plántulas – Numero de hojas

Fuente: autores.

El análisis de Tukey identificó cuatro grupos estadísticamente diferentes en cada variable evaluada, confirmando que el aumen-

to de excretas porcinas en la mezcla favorece el desarrollo de las plántulas (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación del crecimiento de las plántulas de cacao a 90 días. Prueba de Tukey

Tratamiento	Peso fresco de la parte aérea			Peso fresco de la raíz			Peso seco de la parte aérea			Peso seco de la raíz		
	P	G	N	P	G	N	P	G	N	P	G	N
T1	14,69	d	0,68	29,67	d	0,59	1,48	d	0,75	4,61	d	0,62
T2	19,64	c	0,70	39,06	c	0,75	2,09	c	0,69	5,92	c	0,62
T3	28,11	b	0,77	49,63	b	0,80	3,98	b	0,77	10,64	b	0,57
T4	21,42	a	0,85	60,97	a	0,68	6,08	a	0,62	15,56	a	0,76
Nota. P: Promedio, G: Grupo, N: Prueba de normalidad												

Fuente: autores.

Se realizó en RStudio primero el análisis de normalidad de datos, mediante el comando “shapiro.test”, después de observar una distribución normal en los datos se hizo el análisis de correlación entre cada variable, mediante la función “Cor.test”. Se analizó

así en la tabla 6 que existe una correlación fuerte entre las variables sobre crecimiento de todos los tratamientos hechos, donde la correlación más fuerte es la relacionada con el diámetro de las plántulas y los pesos de la parte aérea y la raíz.

Tabla 6. Análisis de correlación de Pearson entre las variables evaluadas

Variables	H	D	N	PFR	PFA	PSR	PSA
H	1	0,86	0,72	0,82	0,85	0,83	0,82
D		1	0,83	0,93(**)	0,96(**)	0,90	0,89
N			1	0,83	0,87	0,85	0,83
PFR				1	0,97(**)	0,93(**)	0,93(**)
PFA					1	0,97(**)	0,96(**)
PSR						1	0,99(**)

Variables	H	D	N	PFR	PFA	PSR	PSA
PSA							1

Nota H. Altura, D: Diámetro del tallo, N: Número de hojas, PFR: Peso en fresco de la raíz, PFA: Peso en fresco de la parte aérea, PSR: Peso en seco de la raíz, PSA: Peso en seco de la parte aérea

Fuente: autores.

En general, los resultados de la tabla 6 evidencian correlaciones positivas y significativas entre las variables de crecimiento, lo que refleja una relación directa entre el desarrollo vegetativo y la acumulación de biomasa. Este comportamiento se asocia con la composición fisicoquímica del compost (Tablas 3 y 4), particularmente en los tratamientos con mayor equilibrio mineral (T3 y T4). Dicho balance nutricional favorece la síntesis

de tejidos estructurales y explica el crecimiento vigoroso observado en las plántulas, a diferencia de los tratamientos con menor contenido de nutrientes, que mostraron un desarrollo más limitado.

Ahora bien, en la tabla 7 se pueden apreciar los lineamientos, mediante los cuales se observa el costo de plántula de cacao, al cabo de 90 días de trabajo, en el área de estudio:

Tabla 7. Lineamientos económicos de la producción de plántulas de cacao

Ítem	Detalle	Unidad	Costo \$
1	Germinación 144 semillas		
1.1	Adquisición de semillas	UND	20.000
1.2	Brote de semillas	UND	N/A
2	Siembra		
2.1	Tierra negra – 150 kilogramos	KG	150.000
2.2	Abono orgánico	UND	185.000
2.3	Bolsas para vivero – 144	UND	72.000
2.4	Mano de obra	UND	50.000
2.5	Seguimiento 90 días	UND	200.000
Total, producción de 144 plántulas de cacao en 90 días			677.000
Costo unitario por plántula producida			4701,38

Fuente: autores.

Como también en la producción del abono orgánico, el costo de elaboración de las plántulas de cacao se aproxima, estando este en un aproximado de \$4.700 COP (US\$ 1,22) por plántula, en su etapa de 90 días.

Potencial de escalamiento agroecológico: Según las estimaciones basadas en la disponibilidad anual de residuos en el municipio de Tesalia, es posible producir aproximadamente 10 toneladas de abono orgánico por año, con un potencial de remplazo parcial del fertilizante comercial. El tratamiento T4 mostró proporciones de sustitución efectivas para nutrientes como nitrógeno, calcio

y magnesio, lo que refuerza su viabilidad como insumo agroecológico.

Como se aprecia en la tabla 8 el potencial del fertilizante para remplazar componentes del abono comercial utilizado en la región, es el denominado Permaxion triple 15, el cual tiene un costo de \$ 3000 por kilo. De esa manera se observa cómo cada kilo de nitrógeno requerido se puede remplazar por 13,27 kilos del fertilizante orgánico, la proporción de 17,03 kilos de fertilizante orgánico por cada kilo de calcio requerido, la proporción de 8,12 kilos de fertilizante orgánico por cada kilo de magnesio a necesitar.

Tabla 8. Análisis del potencial del fertilizante orgánico

Componentes %	Fertilizante comercial	Fertilizante orgánico compostado	
		Componente %	Proporción necesaria
N	15	1,13	13,27
P	15	0,007	2142,85
K	15	0,016	937,5
Ca	2,32	0,1362	17,03
Mg	1,3	0,16	8,125
Carbono orgánico	5	13,10	0,38

Fuente: autores.

Se observa de igual manera cómo a la alta presencia de carbono orgánico en el fertilizante hecho, solo se requiere una proporción de 0,38 kilos por cada kilo de fertilizante; caso contrario con los porcentajes de potasio y fósforo, los cuales presentan bajo porcentaje de participación.

Fertilizante orgánico realizado que, junto con la caracterización fisicoquímica realiza-

da en el primer objetivo específico, da las bases para la producción de un negocio verde, el cual puedan aprovechar las comunidades presentes en el área de estudio. Donde permite así iniciar el cumplimiento de lo establecido en la resolución número 068370 del 27 de mayo de 2020, expedida por el ICA, donde se describen los requisitos para el registro de venta del fertilizante orgánico y sus respectivos anexos.

Análisis económico del abono y producción de plántulas: La producción de 160 kg de abono orgánico tuvo un costo total de \$185.000 COP (US\$ 48,04), con un costo unitario de \$1156,25 COP (US\$ 0,30) /kg. Este valor es competitivo frente a fertilizantes comerciales, y se obtuvo mediante recur-

sos disponibles localmente. La producción de 144 plántulas en 90 días tuvo un costo aproximado de \$4700 COP (US\$ 1,22) por unidad, lo cual es económicamente viable dentro del sistema agroproductivo local. En la tabla 9 se presenta la relación de los costos de elaboración del abono compostado.

Tabla 9. Lineamientos económicos de la producción de abono orgánico

Ítem	Detalle	Unidad	Costo \$
1	Excretas porcinas		
1.1	Trasporte	UND	15.000
1.2	Almacenamiento	UND	20.000
2	Residuos de poscosecha del cacao		
2.1	Transporte	UND	20.000
2.2	Almacenamiento	UND	30.000
3	Abono orgánico		
3.1	Almacenamiento	UND	100.000
Total, elaboración de 160 Kg de abono orgánico en 3 meses			185.000
Costo unitario por kilogramo de abono orgánico producido			1156,25

Fuente: autores.

Como se cita en la teoría Cradle to Cradle, esta investigación da un nuevo uso a la excretas porcinas y residuos de poscosecha del cacao. Se cumple así un ciclo en el cual se crean cero desperdicios, donde se benefician directamente las familias que hacen parte de las asociaciones de porcicultores (Porcitesalia) y cacaoteros (Asocates), los cuales con el conocimiento adquirido tienen el potencial de mejorar sus necesidades básicas dentro de los límites de la naturaleza, ya que con el uso del fertilizante mitigan los efectos nega-

tivos de las excretas porcinas y esta actividad humana evita así daños irreversibles al medio ambiente, como se plantea en la teoría “Economía rosquilla: 7 maneras de pensar la economía del siglo XXI”.

Discusión: Los resultados obtenidos confirman que la incorporación de excretas porcinas en el proceso de compostaje mejora significativamente la calidad del abono y el crecimiento inicial de plántulas de cacao. En particular, el tratamiento T4 (75 % excretas porcinas y 25 % residuos de cacao)

mostró valores superiores en contenido de nutrientes y en variables de crecimiento, lo que coincide con estudios previos que resaltan la importancia de la relación C/N y el aporte de nitrógeno en la producción de compost de alta calidad (Román et al., 2013; Rada Mallqui, 2023).

El incremento en altura, diámetro del tallo y número de hojas en los tratamientos con mayor proporción de porcinaza puede atribuirse al aporte de nitrógeno y micronutrientes esenciales, que son fundamentales en la fase de vivero para garantizar plántulas vigorosas y con mejor capacidad de adaptación al trasplante (Borges-Gómez et al., 2003). De forma similar, Rada Mallqui (2023), en su ensayo con biol CNPK energético, demostró que formulaciones orgánicas adecuadas pueden superar el rendimiento de fertilizantes sintéticos en términos de peso radicular y biomasa seca. Este hallazgo resalta la relevancia de aprovechar residuos pecuarios en combinación con subproductos agrícolas, generando una sinergia que favorece la sostenibilidad productiva.

Por otro lado, la correlación positiva encontrada entre el diámetro del tallo y la biomasa seca respalda lo planteado por Núñez Rodríguez et al. (2020), quienes señalan que las variables morfométricas en etapas tempranas de cacao son buenos indicadores del éxito en la fase de establecimiento.

Sin embargo, el estudio presenta **limitaciones**. En primer lugar, no se realizó un análisis inicial de la materia prima, lo que

impide determinar con exactitud el grado de transformación alcanzado durante el compostaje. Además, la investigación se desarrolló únicamente en condiciones de vivero, lo que restringe la extrapolación de los resultados a campo abierto, donde factores como plagas, variabilidad climática y suelos heterogéneos pueden modificar la respuesta de las plántulas.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos evidencian que el compost de excretas porcinas y residuos de cacao puede convertirse en una alternativa viable frente a fertilizantes químicos, en concordancia con las políticas públicas de promoción de bioinsumos en Colombia (ICA, 2020; MinAgricultura, 2021). El uso de estos insumos no solo contribuye a reducir costos de producción y dependencia de agroquímicos, sino que también fortalece la economía circular y la sostenibilidad ambiental en sistemas agroforestales de cacao.

Finalmente, se recomienda validar estos resultados en condiciones de campo y con periodos de evaluación más prolongados, que permitan observar el efecto del compost en etapas posteriores del cultivo. Asimismo, futuras investigaciones deberían explorar la combinación de este bioabono con otras prácticas agroecológicas, como la inoculación con micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento, para potenciar aún más la productividad y resiliencia de los cacaotales.

En la tabla 10 se pueden observar las características fisicoquímicas del fertilizante orgánico aplicado a las plántulas de cacao.

Tabla 10. Análisis fisicoquímico del fertilizante orgánico en discusión

MO	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	B	Zn	Mn	Fe
%							(ppm)			
45	9	19	9	4	1	1	700	800	300	1200

Fuente: autores.

Desde el enfoque agroecológico, esta propuesta representa una estrategia alineada con los principios de sostenibilidad y economía circular. Se promueve el aprovechamiento integral de residuos agropecuarios, disminuyendo su impacto ambiental y generando valor agregado para pequeños productores. Además, se establece una sinergia entre la producción cacaotera y porcina local, lo cual fortalece los vínculos entre actores del territorio y fomenta la creación de cadenas productivas más resilientes.

La viabilidad económica del abono producido también refuerza su potencial como alternativa sustentable. Su costo de elaboración resulta competitivo frente a los pro-

ductos sintéticos disponibles en el mercado regional. Asimismo, el uso de materias primas locales reduce la dependencia externa, incrementa la autonomía productiva de las comunidades rurales y contribuye a la seguridad alimentaria a largo plazo.

Finalmente, esta investigación se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), particularmente con el ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), al demostrar cómo el manejo adecuado de residuos orgánicos puede convertirse en una solución técnica, económica y ambientalmente viable para enfrentar los retos del cambio climático y la degradación del suelo.

4 CONCLUSIONES

El compost elaborado a partir de excretas porcinas y residuos de poscosecha de *Theobroma cacao* presentó propiedades fisicoquímicas adecuadas y una composición equilibrada de nutrientes esenciales —como calcio, magnesio, hierro, zinc y materia orgánica—, cumpliendo con los parámetros establecidos para abonos orgánicos.

Entre las formulaciones evaluadas, la mezcla con 75 % de excretas porcinas y 25 % de residuos de cacao se destacó por su eficiencia agronómica, al mejorar significativamen-

te el crecimiento de las plántulas en todas las variables estudiadas. Además, su costo de producción resultó competitivo frente a los fertilizantes comerciales, lo que evidencia su viabilidad técnica y económica dentro de sistemas productivos locales.

En conjunto, los resultados demuestran que el aprovechamiento de residuos pecuarios y agrícolas mediante compostaje constituye una alternativa sostenible para la producción de plántulas de cacao. Esta práctica contribuye al cierre de ciclos de nutrientes,

la reducción de impactos ambientales y el fortalecimiento de la economía rural, en coherencia con los principios de la economía

circular y los objetivos de desarrollo sostenible.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Autor 1: investigación, logística, análisis de datos, conceptualización, redacción, borrador original, adquisición de recursos, administrador del proyecto,

Autor 2: investigación, metodología, conceptualización, análisis de datos, redacción, supervisión, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

Se brinda un cordial agradecimiento a la Corporación Universitaria del Huila y la Universidad de Manizales, por la asesoría y acompañamiento prestados durante la eje-

cución del proyecto de investigación en los estudios de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

FINANCIAMIENTO

Los estudios de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente fueron financiados por las becas suministradas por la gobernación del Huila mediante el proyecto denominado “Formación de capital huma-

no de alto nivel que fortalezca los sectores priorizados en la agenda regional de productividad y competitividad del departamento Huila”, con aprobación código BPIN 2021000100133.

USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

No aplica.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

LITERATURA CITADA

- Borges-Gómez, L., Soria-Fregoso, M. y Ruz-Febles, N. (2003). Contenido de macronutrientes en sustratos de bagazo de henequén y excreta porcina y su efecto en el desarrollo de plántulas de papaya. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 9(1), 85-91. <https://revistas.chapingo.mx/horticultura/revista/articulos/rchshIX191.pdf>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2015). *Gleam Dashboard*. <https://www.fao.org/gleam/dashboard/es/>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2003, enero 21). *Resolución 150*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30042205>
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2024). *Informes y estadísticas agropecuarias*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. Icontec. (2014). *NTC 5264: Calidad del suelo – Determinación del pH*. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-calidad-de-suelo-determinacion-del-ph-ntc5264-2023.html>
- Kastillo, J. (2022). *Guía ecológica: Fertilizantes orgánicos. La maravilla de cuidar el planeta. guía ecológica y agricultura sostenible*.
- León Sicard, T. E. (2021). La estructura agroecológica principal de los agroecosistemas. Perspectivas teórico-prácticas. [Tesis doctoral.]. Universidad Nacional de Colombia. https://research.unipd.it/retrieve/e14fb26f-0f39-3de1-e053-1705fe0ac030/LibroEAP_Final_Publicado.pdf
- Lobato Calderón, G. R. (2023). El compostaje como alternativa en la producción agrícola sostenible. *KANYÚ Revista Científica de Ciencias Agrarias*, 1(1), 50-60. <http://revistas.unaat.edu.pe/index.php/kanyu/article/view/50/52>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2005). *Cradle to cradle*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- MinAgricultura. (2021, marzo). *Cifras sectoriales del cacao en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cacao/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Rada Mallqui, T. D. (2023). Aplicación de tres dosis de bio CNPK energético 9-19-9 en el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Clon IMC 67 en Pucallpa [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Ucayali. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/58ec4f5e-7da9-4a1c-8587-a984743ca987>
- Raworth, K. (2018). *Economía rosquilla: 7 maneras de pensar la economía del siglo XXI*. Paidós.
- Román, P., Martínez, M. y Pantoja, A. (2013). *Manual del compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina*. FAO. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

Schnitman, G. (Comp.). (2015). *El libro de la huerta*. Libsa

Tapia Jara, C. I. (2021). Evaluación del riesgo climático de la producción de cacao Fairtrade de Unocace, para plantear me-

didias de adaptación al cambio climático. *Tesis de grado*. Universidad Tecnológica Indoamérica. <http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2712>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.