

Desarrollo de fertilizantes semisólidos sostenibles usando residuos agroindustriales como materia prima

Development of Sustainable Semisolid Fertilizers Using Agroindustrial Waste as Raw Material

Desenvolvimento de Fertilizantes Semissólidos Sustentáveis Usando Resíduos Agroindustriais como Matéria-Prima

Jasmín Herrera-De La Barrera¹ , Glicerio León-Méndez² , Judith Lombana-Del Río³ , Grace Lozano-Perez⁴ , Cristina De La Parra-Molina⁵ 

Artículo de investigación

Recibido: 10 de enero de 2025

Aceptado: 27 de marzo de 2025

Publicado: 24 de julio de 2025

¹ Adm., MSc., Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación CIPTEC, Cartagena, Bolívar, Colombia. Email: Jherrera@tecnocomfenalco.edu.co

² Q.F., MSc., PhD, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación GIA, Cartagena, Bolívar, Colombia. mail: glicerio.leon@tecnologicocomfenalco.edu.co

³ Q.F., Esp., MSc., Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación CIPTEC, Cartagena, Bolívar, Colombia. Email: jlombana@tecnologicocomfenalco.edu.co

⁴ Adm. Ind., MSc., Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación CIPTEC, Cartagena, Bolívar, Colombia. Email: glozanop@tecnocomfenalco.edu.co

⁵ Ing. Ind., MSc(c), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación CIPTEC, Cartagena, Bolívar, Colombia. Email: cdelaparra@tecnologicocomfenalco.edu.co

RESUMEN

Los fertilizantes son materiales, tanto naturales como manufacturados, que suministran los nutrientes esenciales para el desarrollo adecuado de las plantas, mejorando así la producción, el rendimiento y la calidad de los cultivos y alimentos. En el contexto de la agricultura orgánica, el uso de fuentes naturales y sostenibles para la formulación de fertilizantes representa una estrategia clave para reducir el impacto ambiental y la dependencia de insumos químicos. El objetivo de este estudio fue desarrollar un fertilizante semisólido a partir de residuos agroindustriales, contribuyendo a la valorización de desechos orgánicos, mediante un enfoque artesanal accesible al agricultor. Para ello, se recolectaron en la ciudad de Cartagena, Colombia, distintos materiales residuales, incluyendo cáscaras de huevo, epidermis de banana, epidermis de plátano y borra de café. A partir de la cáscara de huevo, se extrajo carbonato de calcio como fuente de calcio biodisponible. Se realizaron análisis de características fisicoquímicas para caracterizar estos residuos, con el fin de establecer su viabilidad como insumos nutritivos. Posteriormente, se formuló el fertilizante semisólido y se evaluó su eficacia mediante la aplicación de una dosis de 5 mL por planta, observando los efectos sobre el crecimiento de *Tradescantia pallida* durante un periodo de 49 días. El fertilizante mostró

Como Citar (Norma Vancouver): Herrera-De La Barrera J, León-Méndez G, Lombana-Del Río J, Lozano-Pérez G, De La Parra-Molina CI. Desarrollo de fertilizantes semisólidos sostenibles usando residuos agroindustriales como materia prima. *Orinoquia*, 2025;29(2):e-823. <https://doi.org/10.22579/20112629.823>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredeite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
OPEN ACCESS



un contenido relevante de minerales esenciales como nitrógeno (0.53 %), magnesio (0.88 %), calcio (6.14 %) y fósforo (1.04 %). Los resultados evidenciaron una respuesta positiva en el crecimiento y desarrollo de las plantas tratadas, demostrando la efectividad del producto. La dosis y frecuencia de aplicación utilizadas fueron suficientes para promover el desarrollo vegetal, aunque se reconoce la necesidad de futuras investigaciones que evalúen múltiples dosis y variables morfológicas, con diseños experimentales más robustos. En conclusión, la formulación desarrollada constituye una alternativa eficaz dentro del marco de la agricultura orgánica, al aprovechar residuos agroindustriales disponibles localmente, reducir la dependencia de productos químicos sintéticos y favorecer un modelo de producción sostenible, regenerativo y económicamente accesible para los pequeños productores.

Palabras clave: características fisicoquímicas, economía circular, fertilizante orgánico, residuos agroindustriales.

ABSTRACT

Fertilizers are materials, both natural and manufactured, that supply essential nutrients for the proper development of plants, thereby improving production, yield, and the quality of crops and food. In the context of organic agriculture, the use of natural and sustainable sources for fertilizer formulation represents a key strategy to reduce environmental impact and dependence on chemical inputs. The objective of this study was to develop a semi-solid fertilizer from agro-industrial residues, contributing to the valorization of organic waste through an artisanal approach accessible to farmers. For this purpose, various residual materials were collected in the city of Cartagena, Colombia, including eggshells, banana peels, plantain peels, and coffee grounds. Calcium carbonate was extracted from the eggshells as a source of bioavailable calcium. Physicochemical analyses were conducted to characterize these residues and determine their viability as nutritional inputs. Subsequently, the semi-solid fertilizer was formulated and its efficacy was evaluated by applying a 5 mL dose per plant, monitoring the growth of *Tradescantia pallida* over a 49-day period. The fertilizer exhibited relevant concentrations of essential minerals such as nitrogen (0.53%), magnesium (0.88%), calcium (6.14%), and phosphorus (1.04%). The results showed a positive response in plant growth and development, demonstrating the effectiveness of the product. The applied dose and frequency were sufficient to promote vegetative development, although further research is needed to evaluate multiple doses and morphological variables using more robust experimental designs. In conclusion, the developed formulation represents an effective alternative within the framework of organic agriculture, by utilizing locally available agro-industrial residues, reducing dependence on synthetic chemical products, and supporting a sustainable, regenerative, and economically accessible production model for small-scale farmers.

Keywords: Physicochemical characteristics, circular economy, organic fertilizer, agro-industrial residues.

RESUMO

Os fertilizantes são materiais, tanto naturais quanto manufaturados, que fornecem os nutrientes essenciais para o desenvolvimento adequado das plantas, melhorando assim a produção, o rendimento e a qualidade das culturas e dos alimentos. No contexto da agricultura orgânica, o uso de fontes naturais e sustentáveis para a formulação de fertilizantes representa uma estratégia fundamental para reduzir o impacto ambiental e a dependência de insumos químicos. O objetivo deste estudo foi desenvolver um fertilizante semissólido a partir de resíduos agroindustriais, contribuindo para a valorização de resíduos orgânicos por meio de uma abordagem artesanal acessível ao agricultor. Para isso, foram coletados diversos materiais residuais na cidade de Cartagena, Colômbia, incluindo cascas de ovos, cascas de banana, cascas de plátano e borra de café. A partir da casca de ovo, foi extraído carbonato de cálcio como fonte de cálcio biodisponível. Foram realizadas análises das características físicas e químicas desses resíduos, com o objetivo de estabelecer sua viabilidade como insumos nutritivos. Posteriormente, o fertilizante semissólido foi formulado e sua eficácia avaliada com a aplicação de uma dose de 5 mL por planta, observando-se os efeitos sobre o crescimento de *Tradescantia pallida* durante um período de 49 dias. O fertilizante apresentou teores relevantes de minerais essenciais, como nitrogênio (0,53%), magnésio (0,88%), cálcio (6,14%) e fósforo (1,04%). Os resultados evidenciaram uma resposta positiva no crescimento e desenvolvimento das plantas tratadas, demonstrando a eficácia do produto. A dose e a frequência de aplicação utilizadas foram suficientes para promover o desenvolvimento vegetal, embora se reconheça a necessidade de futuras pesquisas que avaliem múltiplas doses e variáveis morfológicas com desenhos experimentais mais robustos. Conclui-se que a formulação desenvolvida constitui uma alternativa eficaz no âmbito da agricultura orgânica, ao aproveitar resíduos agroindustriais disponíveis localmente, reduzir a dependência de produtos químicos sintéticos e favorecer um modelo de produção sustentável, regenerativo e economicamente acessível aos pequenos produtores.

Palavras-chave: Características físicas e químicas, economia circular, fertilizante orgânico, resíduos agroindustriais.

INTRODUCCION

Los fertilizantes se definen como cualquier material, ya sea sólido o líquido, natural o sintético, que suministra los nutrientes esenciales para el adecuado desarrollo y crecimiento de las plantas. Su función principal consiste en potenciar la producción y el rendimiento agrícola, elevando la calidad de los cultivos en general, no solo de aquellos destinados al comercio, sino también de los orientados al autoconsumo y otros fines productivos,

lo que repercute directamente en la mejora de la calidad de los alimentos. Además, contribuyen a la mejora de suelos con baja fertilidad, especialmente aquellos que han sido sobreexplotados. Estas características son fundamentales para promover el bienestar del país (FAO, 2002; Navarro, 2021).

Es importante destacar que los fertilizantes presentan una amplia variedad de componentes, siendo los nutrientes más relevantes el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), conocidos como

los macronutrientes básicos de las plantas (Rodríguez *et al.*, 2018). También aportan nutrientes secundarios como el calcio, magnesio y azufre, y micronutrientes, entre los que se incluyen boro, zinc, cobre, molibdeno, silicio, manganeso, hierro y cobalto (Sánchez, 2013; Oroche y Vargas, 2018).

Los fertilizantes se pueden clasificar según su composición química, contenido de nutrientes, estado físico o forma de aplicación. Desde el punto de vista químico, se dividen en inorgánicos o minerales, orgánicos y órgano-minerales. Según su contenido nutricional, pueden ser simples o compuestos. En cuanto a su estado físico, se agrupan en sólidos y líquidos. Finalmente, dependiendo del modo de aplicación, los fertilizantes pueden ser para suelo o foliares (Sánchez, 2013; Rodríguez *et al.*, 2018).

En el contexto actual, la producción de alimentos enfrenta desafíos significativos debido al crecimiento sostenido de la demanda global. Según el informe técnico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), titulado *How to Feed the World in 2050* (FAO, 2009), se proyecta un incremento superior al 34% en el consumo mundial de alimentos en los próximos 40 años. (FAO, 2009). Esto se encuentra alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2: "Poner fin al hambre". Como resultado, la producción de fertilizantes debería incrementarse para que los agricultores puedan ser más eficientes en su labor, especialmente en la agricultura orgánica (Rodríguez *et al.*, 2018). Esta tendencia se está expandiendo en el sector agrícola debido a sus ventajas, como la reducción de la contaminación ambiental y los beneficios económicos, ya que los agricultores pueden producir fertilizantes de manera artesanal, aprovechando los recursos disponibles en el campo. Además, el uso de fertilizantes orgánicos representa una alternativa sostenible con importantes beneficios para la salud humana y el medio ambiente. Estos insumos presentan niveles significativamente más bajos de residuos tóxicos, en comparación con los fertilizantes

sintéticos empleados en la agricultura convencional, cuya dependencia de productos químicos no solo conlleva mayores riesgos ambientales, sino que también incrementa los costos de producción. Esta práctica contribuye a la conservación de los ecosistemas, mejora la calidad del suelo y promueve un sistema agrícola más seguro y equilibrado desde el punto de vista ecológico y económico. (Sánchez, 2013; Oroche y Vargas, 2018; Lligüi *et al.*, 2018).

En respuesta a la creciente necesidad de alternativas sostenibles para la fertilización agrícola y al desafío de gestionar adecuadamente los residuos orgánicos de origen agroindustrial, este estudio tuvo como objetivo principal desarrollar un fertilizante semisólido a partir de subproductos ricos en nutrientes, tales como residuos de café (*Coffea arabica*), cáscara de huevo, y epidermis de banana (*Musa paradisiaca*) y plátano (*Musa balbisiana*). Este trabajo se propuso evaluar el potencial de estos materiales como fuentes viables de macro y micronutrientes, con miras a formular un insumo ecológico que contribuya tanto a la fertilidad del suelo como a la reducción del impacto ambiental derivado de los desechos agroindustriales.

METODOLOGIA

Con el propósito de obtener y caracterizar un fertilizante orgánico-natural a partir de residuos agroindustriales, se recolectaron materiales de origen orgánico en la ciudad de Cartagena, Bolívar ($10^{\circ}25'25''N$, $75^{\circ}31'31''O$). Los insumos utilizados incluyeron epidermis de banana (*Musa paradisiaca*), plátano (*Musa balbisiana*), residuos de café (*Coffea arabica*) y cáscaras de huevo, seleccionados por su alto contenido de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. Esta recolección constituyó la base para el diseño experimental orientado a la valorización de residuos y la formulación de un producto fertilizante ecológico, enmarcado en los principios de economía circular y sostenibilidad agrícola.

Obtención de carbonato de calcio a partir de cáscara de huevo

Fueron recolectados cáscaras de huevo, las cuales fueron lavadas con abundante agua y detergente para eliminar la suciedad con las que llegaron. Posteriormente, se colocaron en un proceso de secado a 70 °C. El material seco fue pulverizado mediante un molino de martillo y tamizado para uniformizar el tamaño de partícula (Gómez, 2011).

Cuantificación de calcio

Se pesó 0.1 g de cáscara de huevo, agregando 10mL de agua, la cual se hirvió a 100 °C por cinco minutos. Posteriormente, se filtro y se midió el pH, ajustando a un valor entre 12 y 13 con NaOH 50% p/v; luego se agregaron 10 mg de azul de hidroxinaftol en agitación constante por dos minutos. Inmediatamente se cuantificó la cantidad de calcio valorando con edetato disódico 0.05 M (Gómez, 2011).

Caracterización fisicoquímica de los residuos agroindustriales

Se realizó la caracterización química de los residuos agroindustriales mediante diversas pruebas, como las descritas a continuación. La proteína se determinó utilizando el método de Kjeldahl según AOAC 955.04; las cenizas se analizaron mediante el método directo según AOAC 924.05; la humedad se determinó mediante el método de secado a 100 ± 2 °C según AOAC 925.0910. La fibra se analizó por el método enzimático gravimétrico, y los carbohidratos y grasas se determinaron por el método de Soxhlet según AOAC 936.15 (AOAC, 1990; Torrenegra et al., 2021).

Obtención del extracto glicólico

Con el fin de aprovechar los compuestos bioactivos presentes en las epidermis de banana (*Musa*

paradisiaca) y plátano (*Musa balbisiana*), se procedió a la obtención de un extracto glicólico destinado a potenciar la capacidad bioestimulante y la liberación controlada de nutrientes del fertilizante orgánico formulado. Las epidermis recolectadas fueron inicialmente lavadas con agua potable y seleccionadas para garantizar la ausencia de deterioro. Posteriormente, se pesaron y se sometieron a un proceso de secado a temperatura ambiente (25 °C) durante doce horas, seguido de un troceado uniforme. La extracción de compuestos fenólicos, azúcares solubles y otros metabolitos secundarios se realizó mediante maceración en caliente, empleando una solución glicólica al 50% p/v durante una hora a 60 °C. Finalmente, los extractos obtenidos fueron filtrados. Este extracto se integró a la formulación final del fertilizante como agente de liberación lenta y activador biológico natural, favoreciendo la asimilación de nutrientes y la salud del suelo.

Estudio de preformulación

Se llevó a cabo un estudio de preformulación para asegurar que no existieran incompatibilidades entre el principio activo y los auxiliares de formulación que pudieran afectar la estabilidad del producto final. Para ello, se revisaron las fichas técnicas de cada materia prima, con el fin de identificar posibles interacciones entre los componentes y determinar la mejor composición para el fertilizante semisólido (Granados et al., 2021).

Formulación del fertilizante semisólido

Después de identificar los componentes para la formulación del fertilizante semisólido (Tabla 1) y considerando los rangos de dosificación especificados en las fichas técnicas de cada componente, se realizaron pruebas de laboratorio, elaborando 100 g de producto en cada ensayo (Granados et al., 2021).

Tabla 1. Formulación del fertilizante usando como activos residuos agroindustriales

Componentes	Porcentaje
Carbomer	0.75%
Aceite esencial de naranja	0.5%
Extracto glicólico de epidermis de banana	1.5%
Extracto glicólico de epidermis de plátano	1.5%
Carbonato de calcio (cáscara de huevo)	1.0%
Borra de café	0.5%
Glicerina	1.0%
Agua	c.s.p.100%

Para determinar las especificaciones de calidad de la formulación desarrollada, se elaboraron tres lotes independientes del fertilizante semisólido bajo condiciones controladas y replicadas experimentalmente. Cada muestra fue evaluada en tres repeticiones, y se analizaron características fisicoquímicas relevantes como pH, viscosidad y contenido mineral, este último determinado mediante espectrometría de absorción atómica (EAA). En cuanto a la evaluación de la eficacia agronómica del fertilizante, se aplicó una dosis fija de 5 mL durante un período de 49 días a la especie vegetal *Tradescantia pallida*. La elección de trabajar con una única dosis se fundamentó en estudios preliminares no publicados.

Determinación de pH: se tomaron 10 g del fertilizante y se agitaron de manera constante a una velocidad moderada durante cinco minutos. Posteriormente, se determinó el pH utilizando un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0 (Granados et al., 2021).

Determinación de viscosidad: la viscosidad aparente del fertilizante semisólido se determinó a 25 °C, utilizando un viscosímetro Brookfield DV-E (Estados Unidos), equipado con aguja No. 3 y operado a una velocidad constante de 100 rpm, hasta alcanzar una lectura estable, siguiendo la metodología descrita por Granados et al. (2021). La medición de esta variable es fundamental, ya que la viscosidad influye directamente en la manipulabilidad, aplicabilidad y estabilidad del fertilizante durante su almacenamiento y uso en campo. Un valor adecuado de viscosidad garantiza una

distribución homogénea del producto sobre el sustrato, facilita su dosificación y evita problemas de sedimentación o separación de fases, lo cual es crucial para asegurar la eficacia agronómica del insumo. (Granados et al., 2021).

Análisis estadístico

Los resultados de los tres ensayos independientes se presentaron como el promedio ± el error estándar de la media (ESM). La organización de los datos se realizó utilizando la hoja de cálculo MS Excel 2016, mientras que los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software GraphPad Prism V8.00 para Windows.

RESULTADOS

El análisis fisicoquímico de la borra de café y la epidermis de banana y plátano, utilizados como insumos para el desarrollo del prototipo, proporciona información valiosa que sirve como indicador de calidad y establece parámetros de medición para una producción estandarizada (Tabla 2). De igual manera, el carbonato de calcio obtenido de la cáscara de huevo presenta una concentración de calcio de 84.35±0.37%.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de los residuos agroindustriales

	Epidermis de banana	Epidermis de plátano	Borra de café
Parámetros	Porcentaje (%)		
Proteína	0.79±0.011	3.1±0.03	10.0±0.07
Fibra	0.82±0.010	4.90±0.33	40.17±0.33
Grasas	0.39±0.07	0.77±0.45	14.50±0.05
Ceniza	1.49±0.05	1.89±0.05	1.70±0.04
Carbohidrato	15.32±0.05	16.14±0.85	66.4±0.51
Humedad	82.0±0.04	78.1±0.54	7.40±0.06

Con el objetivo de determinar el valor potencial de los residuos agroindustriales como materia prima para la formulación de un fertilizante orgánico-natural, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos fundamentales para establecer la capacidad nutricional y funcional de los residuos, en el contexto de la fertilización agrícola. El contenido de

proteínas y carbohidratos puede indicar la presencia de nitrógeno y carbono orgánico, esenciales para el metabolismo vegetal. La fibra, por su parte, actúa como agente estructurante que favorece la estabilidad física del fertilizante. Las grasas y cenizas aportan compuestos bioactivos y minerales, respectivamente, mientras que la humedad influye en la manipulación, conservación y aplicabilidad del producto final.

Los resultados muestran que la borra de café presenta los valores más altos de proteína (10.0 %), fibra (40.17 %) y carbohidratos (66.4 %), lo que la convierte en un componente altamente nutritivo y funcional. En contraste, las epidermis de banana y plátano presentan menores concentraciones, pero contribuyen significativamente a la estructura y equilibrio del fertilizante.

En la Tabla 3 se evidencia el porcentaje de nitrógeno (0.53%) que aporta el fertilizante desarrollado. El nitrógeno es un nutriente crucial para

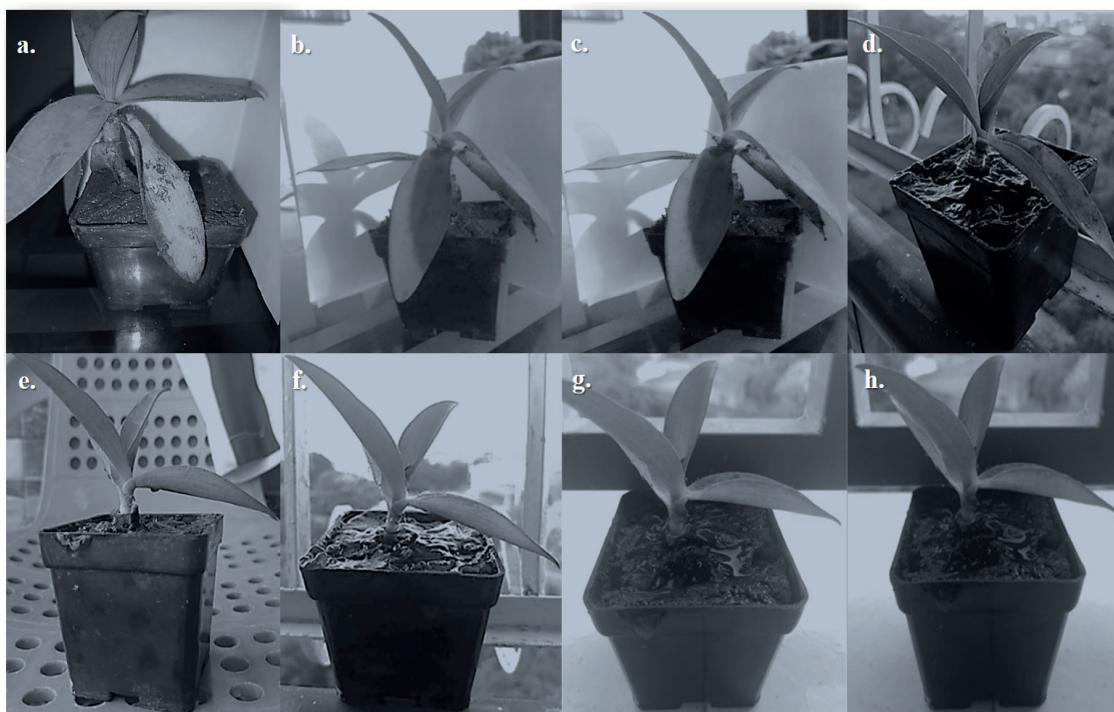
el crecimiento de las plantas, y su deficiencia puede llevar a una disminución en la calidad de los cultivos.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del fertilizante usando como activos residuos agroindustriales

Parámetros	Resultado
pH	7.46±0.055
Nitrógeno (%)	0.53±0.027
Fósforo (%)	1.04±0.055
Potasio (%)	1.46±0.042
Calcio (%)	6.14±0.089
Magnesio (%)	0.88±0.045

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del fertilizante en plantas de *Tradescantia pallida* se presentan en la Figura 1. A partir de la observación visual y el seguimiento temporal, se pudo inferir que la dosis aplicada, junto con la frecuencia establecida, favoreció el crecimiento y desarrollo general de la especie evaluada.

Figura 1. Evaluación de la eficacia del fertilizante utilizando una dosis de 5 mL. a) Tiempo 0; b) Tiempo 7 días; c) Tiempo 14 días; d) Tiempo 21 días; e) Tiempo 28 días; f) Tiempo 35 días; g) Tiempo 42 días; h) Tiempo 49 días.



DISCUSIÓN

Wei *et al.* (2018) demostraron que se evidencia una reducción en el número de frutos y la producción en plantas de tomate con una dosis baja de nitrógeno. Hernández *et al.* (2020) reportaron que la reducción en la aplicación de nitrógeno en cultivos de tomate tuvo un impacto negativo tanto en el rendimiento, como en la acumulación de azúcares en los frutos, evidenciando la relevancia de este macronutriente en el desarrollo y calidad del cultivo. Esta observación pone de manifiesto la importancia de mantener una disponibilidad adecuada de nitrógeno durante todo el ciclo fenológico de las plantas. En consecuencia, en prácticas agrícolas convencionales es común el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados como estrategia para evitar deficiencias nutricionales.

No obstante, cuando el nitrógeno es suministrado en formas no asimilables o en cantidades superiores a la capacidad de absorción del cultivo, este puede ser fácilmente lixiviado hacia capas más profundas del suelo. Este fenómeno contribuye significativamente a la eutrofización de cuerpos de agua, la contaminación de acuíferos subterráneos y la degradación de la fertilidad del suelo, según lo documentado por Navarro (2021). Por tanto, el manejo racional de las fuentes de nitrógeno, junto con estrategias de liberación controlada y fertilización orgánica, se vuelve crucial para mitigar estos impactos ambientales y mejorar la eficiencia en el uso del nutriente.

Algunos investigadores han desarrollado avances con residuos agroindustriales utilizados en la construcción del fertilizante de manera individual. Agila y Castillo (2015), desarrollaron el procesamiento de la corteza de banano para la obtención de sustratos con fines de utilización vegetal; indicaron que los sustratos a base de cáscara de banano garantizan la conformación de un buen sustrato para el desarrollo de las plantas de vivero (Agila y Castillo, 2015). Torres demostró que el uso de pulpa de café en la elaboración de abonos

incrementa la productividad de los cultivos (Torres, 2012); de igual manera, Cueva *et al.* (2020), produjeron un abono orgánico disruptivo a base a residuos de café de excelente calidad con agradable aroma, con alta carga de nutrientes naturales que permite el crecimiento de las plantas (Cueva *et al.*, 2020).

Morera *et al.* (2018) evaluaron el efecto del carbonato de calcio en la fertilización de *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria dictyoneura*; descubrieron que altas dosis de cal y urea optimizan la disponibilidad y aprovechamiento del fósforo en el suelo de las pasturas, lo que resulta en un mayor rendimiento de biomasa en la pradera, especialmente en suelos ácidos (Morera *et al.*, 2018). Es importante destacar que el carbonato de calcio (CaCO_3) se utiliza principalmente para elevar el pH de los suelos ácidos y disminuir la presencia de aluminio (Al) en la solución del suelo. El bajo crecimiento de los cultivos en suelos ácidos se debe principalmente a la presencia de aluminio soluble; este compuesto resulta perjudicial para las raíces de numerosas plantas (Gómez, 2011). El CaCO_3 disminuye el aluminio soluble a través de dos reacciones:



De manera similar, el uso de residuos de la industria agroalimentaria ayuda a reducir los costos de producción del fertilizante al prescindir de agroquímicos. Esto hace posible conseguir una fuente natural de fitoreguladores, que favorecen los procesos fisiológicos y estimulan el crecimiento de las plantas. Estos fitoreguladores son útiles en diversas actividades agronómicas, como la acción sobre el follaje y el fomento del vigor (Sánchez, 2013). Como resultado, se observa un aumento significativo en las cosechas, con un impacto positivo en el cultivo, debido a que las plantas muestran un crecimiento y desarrollo más acelerado, además de contribuir a la prevención de la contaminación ambiental (Sánchez, 2013).

La aplicación de una dosis de 5 mL por planta, con una frecuencia semanal durante un período de 49 días, mostró efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo de *Tradescantia pallida*.

Desde un enfoque agroecológico, se observó que el régimen de aplicación favoreció el equilibrio ecológico del sistema de cultivo, promoviendo condiciones compatibles con el principio de trofobiosis, es decir, la armonía entre organismos vivos y su entorno en términos de disponibilidad de nutrientes y sostenibilidad del ecosistema. Esta respuesta se alinea con los objetivos de la agricultura orgánica, al prescindir del uso de fertilizantes sintéticos y evitar la contaminación de suelos y aguas.

Con el objetivo de facilitar la replicabilidad del proceso en contextos rurales, el fertilizante fue diseñado bajo un enfoque artesanal, técnicamente accesible para los productores. Esta estrategia permite a los agricultores utilizar materiales orgánicos disponibles en sus propias fincas, reduciendo los costos de producción y fomentando prácticas asociadas a la economía circular dentro del sistema agroproductivo local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco por brindar espacios, recursos y tiempo a los investigadores.

REFERENCIAS

Agila M., Castillo S. (2015). *Procesamiento de la corteza de banano para la obtención de sustratos con fines de utilización vegetal*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Agronomo, Universidad Técnica de Machala]. Machala-Ecuador. http://repositorio.ut-machala.edu.ec/bitstream/48000/1095/7/CD328_TESIS.pdf

Association of Analytical Chemists. (1990). *Oficial methods of analysis William Horwitz*. AOAC.

Cueva G., Espinoza H., Bolívar K., Torres L., Sánchez S. (2020). *Uso de la borra de Café para producir un abono orgánico con aroma a café*. [Tesis para obtener el Grado de Magíster en Administración, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Surco-Perú. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17259/Uso%20de%20la%20Borra%20de%20Caf%C3%A9-Abono%20Org%C3%A1nico-CUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed="](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/17259/Uso%20de%20la%20Borra%20de%20Caf%C3%A9-Abono%20Org%C3%A1nico-CUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=)

Food and Agriculture Organization of the United Nations, (FAO). (2002). *Los Fertilizantes y su uso*. FAO, IFA. <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO). (2009). *How to Feed the World in 2050*. FAO. https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf?utm_source=chatgpt.com

Gómez, D. (2011). *Cuantificación de Calcio en soluciones caseras que contienen cáscara pulverizada de huevo de gallina (Gallus gallus)*. [Trabajo de grado Para optar Título de Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Guatemala. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1161.pdf>

Granados, C., Leon, D., Leon, G. (2021). Development of a gel-like cosmetic with antioxidant properties using *Citrus sinensis* essential oil as an active. AVFT Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, 40(1), 101-107.

Hernández, V., Hellín, P., Fenoll, J., & Flores, P. (2020). Impact of nitrogen supply limitation on tomato fruit composition. Scientia Horticulturae., 264, 109173.

Morera, N., Riaño, D., Silva, A. (2018). Influencia del uso de carbonato de calcio en la fertilización de *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria dictyoneura*. Rev Sist Prod Agroecol, 9(1), 15-34.

Navarro, M. (2021). Desarrollo, estabilidad y eficacia de biofertilizantes para la mejora del

- cultivo de plantas de tomate y maíz. [Tesis Doctorado de Ecología, Ciencias Ambientales y Fisiología Vegetal, del Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales (BEECA) de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona]. Universitat de Barcelona. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/674013/MNA_TESIS.pdf?sequence=1
- Lligüi, M., Llivicura, M., Chica E. (2018). Discriminación del efecto nutricional de biofertilizantes líquidos enriquecidos con componentes minerales en aplicación foliar en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L). [Tesis para obtener el título de Ingeniería Agro-nómica]. Universidad de Cuenca. Cuenca - Ecuador. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25599/1/tesis.pdf.pdf>
- Oroche, D., Vargas, J. (2018). Biofertilizantes y su influencia sobre las características agro-nómicas y el rendimiento de *Myrciaria dubia* H.B.K Mc Vaugh "camu-camu" en la comunidad de Moena Caño. Belen. 2015. [Tesis para obtener el título de profesional de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agro-nomía Escuela de Formación Profesional de Agronomía]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos - Perú. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/6839/Danny_Tesis_Titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, D., Lugo, C., Bejarano, F. Mercado de fertilizantes inorgánicos en Colombia (2009 - 2018). Superintendencia de Industria y Comercio. https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Proteccion_Competencia/Estudios_Economicos/Mercado%20Fertilizantes%20Organicos%20en%20Colombia.pdf
- Sánchez, E. (2013). Evaluación de biofertilizante en el cultivo de orégano (*Origanum vulgare* L.) en la granja experimental Querochaca. [Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Ambato]. Ambato - Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6530/1/Tesis-68%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%202009.pdf>
- Torrenegra, M., León, G., & Herrera, A. (2021). Evaluación de un biorecubrimiento comestible a base de almidón modificado aplicado a aguacate (*Persea americana*) mínimamente procesado. Revista chilena de nutrición, 48(2), 187-194. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182021000200187>
- Torres, C. (2012). Uso de pulpa de café en la elaboración de abonos para incrementar la productividad de café. 12.p. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL1257.pdf>
- Wei, Z., Du, T., Li, X., Fang, L., & Liu, F. (2018). Interactive effects of elevated CO₂ and N fertilization on yield and quality of tomato grown under reduced irrigation regimes. Frontiers in Plant Science. 9, 328. doi: 10.3389/fpls.2018.00328