

CAPÍTULO 2

Estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum annuum*)

Comparative study of the effect of organic and inorganic fertilization on the growth and productivity of the Chili pepper crop (*Capsicum annuum*)

GLEBE

E-ISSN: 3103 1234

Volumen 1(1).

Mayo - agosto 2025

APLICACIONES PRÁCTICAS
EN EL MANEJO DEL SUELO
Y FERTILIZACIÓN DE
CULTIVOS

ISBN: 978-9942-7391-6-2

Anais Fabiola Fagúndez Benaventa¹ ; Minerva Márquez² ; Henry Baloy Porras³ ;
Carlos Humberto Aguas Changoluisa⁴ ; Arnaldo José Armado Matute^{*5} 

¹Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. anais17fagundez@hotmail.com

²Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. rromero@ueb.edu.ec

³Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela. porrasbaloy@gmail.com

⁴Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador. <https://ror.org/005cgg117>. caguas@ueb.edu.ec

⁵Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela. <https://ror.org/05sj7yp62>. aarmado@uc.edu.ve

*Autor para correspondencia: aarmado@uc.edu.ve

DOI: <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.2>

Resumen

Los fertilizantes están hechos de materiales orgánicos o inorgánicos que se agregan a los sistemas de cultivo para suministrar uno o más nutrientes esenciales. Los fertilizantes inorgánicos pueden favorecer un desarrollo óptimo de las plantas al proporcionar nutrientes de rápida disponibilidad, mientras que los fertilizantes orgánicos son una alternativa sostenible que mejora la producción agrícola preservando la calidad del suelo, además de ser más accesibles para los pequeños productores. El presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de la fertilización orgánica, inorgánica y mixta sobre el crecimiento y la productividad del cultivo de ají (*Capsicum annuum*), en suelos del estado Carabobo, Venezuela. El diseño experimental consistió en un esquema de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos: control (T0, Bocashi), orgánico (T1, ácidos húmicos), inorgánico (T2, formulaciones NPK) y mezcla 1:1 de orgánico e inorgánico (T3). Las variables evaluadas incluyeron propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además de parámetros biométricos del cultivo y productividad. Los resultados indicaron que todos los tratamientos mejoraron significativamente las condiciones del suelo respecto al estado inicial. El tratamiento T3 fue el más eficaz en incrementar la materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y la capacidad de intercambio catiónico, promoviendo



Recibido: 4 de abril, 2025

Revisado: 12 de mayo, 2025

Aceptado: 19 de junio 2025

Citación sugerida: Fagúndez A.; Márquez M.; Baloy H.; Aguas C. y Armado A. (2025). Estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum Annuum*). En *Aplicaciones prácticas en el manejo del suelo y fertilización de cultivos* (pp. 31–63). Colección seriada: GLEBE, 1(1). <https://doi.org/10.63804/gb.1.1.2>.

además un mayor crecimiento en altura y diámetro del tallo, y un mayor número de frutos por planta. T0 y T1 destacaron en el aumento de la respiración basal del suelo, reflejo de mayor actividad microbiana. En términos de productividad, T0 alcanzó el valor más alto (1,53 kg/ha), seguido de T3 (1,46 kg/ha), mientras que T1 presentó la menor productividad (1,09 kg/ha). Se concluye que la combinación de fertilización orgánica e inorgánica optimiza la disponibilidad de nutrientes y mejora las condiciones edáficas y de cultivo, lo que contribuye a una agricultura más eficiente y sostenible.

Palabras clave: agricultura; fertilizantes; fertilidad del suelo; hortalizas; suelos.

Abstract

Fertilizers are made from organic or inorganic materials added to cropping systems to supply one or more essential nutrients. Inorganic fertilizers promote optimal plant development by providing nutrients in readily available forms, while organo-mineral fertilizers offer a sustainable alternative to enhance agricultural productivity by preserving soil quality and being accessible to smallholders. This study aimed to compare the effects of organic, inorganic, and mixed fertilization on the growth and productivity of the chili pepper crop (*Capsicum annuum*) in soils from Carabobo State, Venezuela. A completely randomized block design was used with four treatments: control (T0, Bocashi), organic (T1, humic acids), inorganic (T2, NPK formulations), and a 1:1 mixture of organic and inorganic fertilizers (T3). The evaluated variables included physical, chemical, and biological soil properties, biometric parameters of the crop, and productivity. Results showed that all treatments significantly improved soil conditions compared to the initial state. Treatment T3 was the most effective in increasing organic matter content, moisture retention capacity, and cation exchange capacity, also promoting greater plant height and stem diameter, as well as a higher number of fruits per plant. T0 and T1 stood out in increasing soil basal respiration, indicating higher microbial activity. In terms of productivity, T0 showed the highest value (1.53 kg/ha), followed by T3 (1.46 kg/ha), while T1 had the lowest productivity (1.09 kg/ha). It is concluded that the combination of organic and inorganic fertilization optimizes nutrient availability and improves both soil and crop growth conditions, contributing to more sustainable and efficient agricultural practices.

Keywords: agriculture; fertilizers; soil fertility; vegetables; soils.

Introducción

El género *Capsicum* de la familia (*Solanaceae*) es originario del continente americano y comprende alrededor de 30 especies, de las cuales siete son cultivadas; entre éstas se encuentra *Capsicum annuum* [1], conocido también como ají dulce [2].

Los frutos de *C. annuum*, así como los de otras especies de *Capsicum*, son una buena fuente de fitoquímicos, tales como fenoles, flavonoides y capsaicinoides. Estos compuestos son potentes antioxidantes y juegan un rol importante en la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y desórdenes neurológicos [3].

El crecimiento y rendimiento de un cultivo depende de los factores inherentes al ecosistema en el cual las plantas crecen. Además del factor suelo, existen los relacionados con la planta y el clima, constituyendo así el llamado sistema suelo-planta-clima. En muchas ocasiones los agricultores manejan los dos primeros, ya que la fase clima es más independiente. Dentro de este sistema, la fertilidad del suelo es considerada un factor de crecimiento y es definida como el potencial que tiene un suelo para suplir los elementos nutritivos en las formas, cantidades y proporciones requeridas para lograr un buen crecimiento y rendimiento de las plantas; cuando la disponibilidad de nutrimentos en el suelo para las plantas no es suficiente, ésta puede ser aumentada al añadir fertilizantes al suelo, los cuales poseen uno o más elementos esenciales para el crecimiento y rendimiento de las plantas [4].

Los fertilizantes están hechos de materiales orgánicos o inorgánicos producidos a partir de orígenes naturales o sintéticos que se agregan a los sistemas de la planta con el fin de suministrar uno o más nutrientes necesarios para el crecimiento saludable de las plantas. Los fertilizantes producidos a partir de materiales orgánicos contienen carbono y uno o más de los nutrientes esenciales de la planta, nitrógeno, fósforo y potasio. El abono orgánico más común es el abono animal, el compost, el lodo de alcantarillado y los subproductos de animales procesados y vegetales [5].

Por otro lado, el Bocashi es un abono orgánico fermentado originario de Japón, cuyo nombre significa “materia orgánica fermentada”. Se obtiene mediante la descomposición controlada de materiales orgánicos como estiércol, residuos vegetales, cascarilla de arroz, melaza y levaduras, en un proceso que puede ser aeróbico o anaeróbico, dependiendo de la receta utilizada. Este proceso de fermentación acelera la descomposición de la materia orgánica, lo que permite obtener el abono listo para su uso en un período relativamente corto, entre 12 y 21 días [6].

El uso del Bocashi en la agricultura ofrece múltiples ventajas: mejora la fertilidad del suelo al aportar nutrientes esenciales como N, P y K; aumenta la actividad microbiana beneficiosa, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes; mejora la estructura del suelo, puesto que aumenta la capacidad de retención de agua y aireación; y reduce la dependencia de fertilizantes químicos [7]. Sin embargo, también presenta algunas limitaciones. La preparación del Bocashi requiere una gestión cuidadosa del proceso de fermentación, como el control de la temperatura, humedad y

aireación, lo que puede ser laborioso. Además, su eficacia puede variar dependiendo de la calidad y proporción de los materiales utilizados, así como de las condiciones ambientales durante su elaboración [8].

En este contexto, mejorar y mantener la fertilidad del suelo es tema central en la agricultura, para el agricultor orgánico alimentar el cultivo significa alimentar el suelo. Sólo un suelo fértil puede producir cultivos saludables y ese es el recurso más importante de cada granja, por consiguiente, es de suma importancia para agricultores desarrollar una comprensión integral de los diversos factores que influyen la fertilidad del suelo [9].

De esta manera, este trabajo se enfocó en hacer un estudio comparativo del efecto de fertilización orgánica mineral e inorgánica sobre el crecimiento y productividad del cultivo de Ají (*Capsicum annuum*), evaluando así, las ventajas e inconvenientes que tienen estos productos al ser suministrado al suelo donde se va a cultivar.

Metodología

Selección del suelo

Se trabajó en un terreno ubicado en el estado Carabobo, municipio Naguanagua, cerca de la escuela Popular Agroecológica Ezequiel Zamora, las coordenadas geográficas fueron: 10° 16' 22,7" de latitud (N) y 68° 00' 49,5" de longitud (W). Se trabajó en un terreno que cuenta con un área de 225,60 m² (24 m x 9,40 m) aprox. El área de este terreno se dividió en 8 hileras, cada hilera constó de 37 plantas de Ají, el cual hizo un total de 296 plantas. La distancia de la siembra entre surcos fue de 1,5 m aproximadamente y entre plantas 0,70 m.

Inicialmente se tomó una muestra para visualizar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, la segunda toma se hizo después de aplicar la fertilización con los diferentes productos. Se tomaron 3 submuestras de 30 cm de profundidad, caminando aproximadamente 25 a 30 metros en líneas cruzadas desde un punto del terreno. Posteriormente, se mezclaron las submuestras en un recipiente limpio y se realizó un cuarteo, para así obtener finalmente una muestra compuesta representativa [10].

Para la extracción de cada submuestra se eliminó la cobertura vegetal u hojarasca de cada punto elegido evitando eliminar la capa superficial de suelo. A esta muestra se le determinaron las propiedades fisicoquímicas: textura, capacidad de retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, bases intercambiables, nitrógeno amoniacal y fósforo disponible.

La segunda muestra se tomó una vez realizada la aplicación de los fertilizantes. Para

obtener una muestra representativa, se sacrificó 5 plantas por hileras y las submuestras se tomaron de los hoyos que dejó cada planta. Luego estas submuestras se mezclaron para obtener la muestra final la cual fue llevada al laboratorio para su posterior análisis.

Los análisis de rutina en laboratorio de suelos incluyeron determinación de textura, reacción del suelo (pH), respiración basal, materia orgánica y los macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, capacidad de intercambio catiónico, acidez intercambiable y conductividad eléctrica en el suelo.

Fertilizantes

El fertilizante orgánico empleado a base de ácidos húmicos (Agro húmicos Plus) fue suministrado por Productos Minerales de Venezuela empresa PROMIVECA, Venezuela. Este producto se conservó a temperatura ambiente en sombra previo a su uso. Los fertilizantes inorgánicos de fórmulas (N=15, P=15, K=15) y (N=10, P=20, K=20) granulados que se usaron en el trabajo fueron suministrados por la empresa Agroinfal C.A, ubicada en Acarigua, estado Portuguesa. Estos productos fueron importados por DiproAgro C.A. Se realizaron en el cultivo cuatro tratamientos al azar por duplicado indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los diferentes tratamientos aplicados en la fertilización del suelo.

Tratamiento	Descripción	Aplicación 1: Siembra	Aplicación 2: Fructificación
T0	Blanco, tratamiento control	Bocashi	Bocashi
T1	Orgánica	Agro húmicos Plus	Agro húmicos Plus
T2	Inorgánica	MPM1	MPM2
T3	Mezcla 1:1	Agro húmicos Plus + MPM1	Agro húmicos Plus + MPM2

MPM1: (N=15, P=15, K=15); MPM2: (N=15, P=15, K=15).

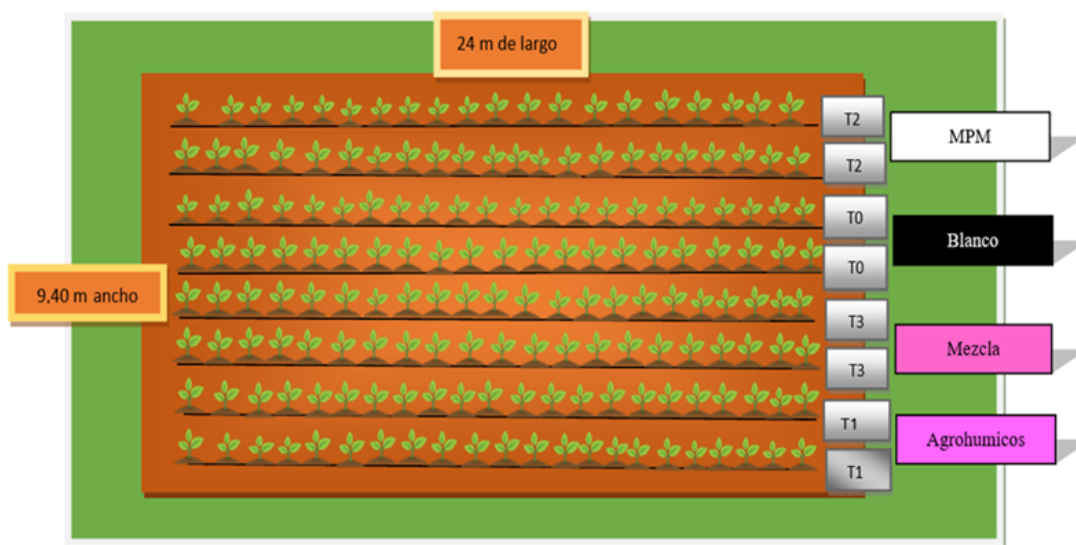


Figura 1. Diseño del terreno donde se realizó la aplicación de los distintos tratamientos (T0, T1, T2, T3) en el cultivo de Ají.

Se realizaron dos aplicaciones de los fertilizantes orgánico e inorgánico. La primera aplicación se hizo una vez ya sembrada las plantas y la segunda aplicación a los (25 - 30) días de la siembra. En la figura 1 se muestra una representación del cultivo.

Los fertilizantes utilizados se aplicaron de forma manual para cada tratamiento, se agregó al suelo el sólido alrededor de cada planta (5 cm de separación de la planta), para el caso del fertilizante orgánico se adicionó (20 g), el fertilizante inorgánico se colocó de la siguiente manera: se abrió un pequeño agujero de profundidad (8 cm aproximadamente) en el suelo cerca de la planta y se inyectó (17 g) del producto por cada punto de siembra, también se realizó una mezcla 1:1 de ambos fertilizantes para añadir a un grupo de plantas.

Resultados y discusión

La discusión se centró en la respuesta de las variables a los diferentes tratamientos aplicados, buscando establecer relaciones causa-efecto y correlaciones entre las variables evaluadas.

Tabla 2. Propiedades químicas de las muestras de suelos bajo cultivo de ají con diferentes tratamientos de fertilización.

Parámetros	Valores iniciales	Tratamientos			
		T0	T1	T2	T3
M.O., %	0,84± 0,07	2,5± 0,2	2,8± 0,5	2,5± 0,5	3,5± 0,4
pH	7,1 ± 0,1	6,6± 0,1	6,1± 0,1	6,6± 0,1	6,0± 0,1
C.E, (dS/m)	0,35± 0,05	0,090± 0,002	0,118± 0,001	0,123± 0,002	0,148± 0,002
C.I.C., (cmol/kg)	8,2± 0,2	10,4± 0,1	15,8± 0,1	14,6± 0,3	15,0± 0,1
[Ca], (cmol/kg)	2,7± 0,1	2,4± 0,2	2,1± 0,2	3,4± 0,2	1,3± 0,1
[Mg], (cmol/kg)	0,8± 0,1	3,9± 0,2	4,1± 0,4	2,596± 0,001	2,86± 0,09
[K], (cmol/kg)	0,37±0,02	0,297±0,008	0,25± 0,02	0,3±0,1	0,265±0,008
[N], mg/kg suelo	45±2	5,7±0,4	5,9±0,6	6,5±0,1	5,9±0,1
[P], mg/kg suelo	20,6±0,4	7,5±0,5	4,9±0,3	14,8±0,9	49±4

M.O.: materia orgánica. pH: potencial de hidrógeno. C.E.: conductividad eléctrica, C.I.C.: capacidad de Intercambio Catiónico. [Ca]: contenido de calcio. [Mg]: contenido de magnesio. [K]: contenido de potasio. [N]: contenido de nitrógeno. [P]: contenido de fósforo. Se reporta el promedio y la desviación estándar para n=3.

A continuación, se presenta el análisis de la influencia de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Propiedades Químicas

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en las propiedades químicas del suelo analizadas: materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de calcio, contenido de magnesio, contenido de potasio, contenido de nitrógeno y contenido de fósforo.

Materia orgánica, M.O.

Todos los tratamientos con fertilización orgánica mineral e inorgánica y mezclas (T0, T1, T2 y T3) mostraron un aumento considerable en el contenido de materia orgánica en comparación con el suelo inicial. La mezcla de T3 destacó como la más efectiva, seguido por T1. Tanto T0 como T2 no mostraron diferencia significativa ($\alpha = 0,05$). El tratamiento T1 mostró la mayor variabilidad ($\pm 0,5$), lo que podría indicar diferencias en la respuesta del suelo o la heterogeneidad en la aplicación del tratamiento. Se ha reportado que el aumento de la materia orgánica en los suelos tratados es un resultado positivo, ya que este componente juega un papel importante en la fertilidad del suelo [11]. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y nutrientes, y estimula la actividad biológica [12]. También se ha reportado que cuando señalan que el Bocashi es una excelente opción para enriquecer el suelo y aumentar su contenido de materia orgánica. Estos productos se descomponen lentamente, liberando nutrientes de forma gradual [13].

La prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk arrojó un valor p mayor que el nivel típico de significancia ($0,344 > 0,05$), concluyendo que los datos siguen una distribución normal, por lo que es apropiado aplicar pruebas estadísticas paramétricas. La prueba paramétrica adecuada fue la igualdad de medias (ANOVA) cuyo valor p fue menor que 0,05 ($p = 3,44 \text{ E-}04$), lo que permite afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización aplicados en la siembra de ají. Esto implica que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto distinto sobre la materia orgánica en comparación con los demás. Por lo tanto, fue necesario realizar una prueba adicional, en este caso, el análisis de Tukey para determinar exactamente qué tratamientos difieren significativamente entre sí.

Todos los tratamientos (T0, T1, T2, T3) presentan diferencias significativas en comparación con el tratamiento inicial, lo que indica que los tratamientos de fertilización mejoran las condiciones en comparación con la situación inicial. La adición de fertilizantes orgánicos y mezclas de abonos parece mejorar la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, lo que concuerda con estudios previos sobre la importancia de la fertilización orgánica para mejorar la calidad del suelo [14].

El aumento de materia orgánica encontrado en los tratamientos puede atribuirse a la introducción de nutrientes a través de los fertilizantes aplicados. En particular, la aplicación de Bocashi (T0) ha sido reportada como una estrategia efectiva para mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica [15]. Este abono orgánico es rico en microorganismos que facilitan la descomposición de la materia orgánica, lo que se

traduce en una mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Por otro lado, aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos T0, T1 y T2, el tratamiento T3 (mezcla de abonos) mostró una tendencia a generar un mayor incremento en el contenido de materia orgánica, aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística en todas las comparaciones. Esto podría explicarse por la sinergia entre los diferentes componentes del tratamiento T3, que posiblemente combina fuentes de nutrientes y microorganismos en proporciones óptimas, promoviendo una mayor actividad microbiana en el suelo y acelerando el proceso de descomposición de materia orgánica [16]. Sin embargo, la variabilidad en los datos y el tamaño muestral pueden haber influido en la capacidad de detectar una diferencia estadísticamente significativa.

Es importante considerar que las diferencias encontradas entre los tratamientos podrían estar influenciadas por factores como las condiciones iniciales del suelo y la capacidad de los diferentes fertilizantes para liberar nutrientes de manera más eficiente [17]. En el caso de T3, la mezcla de abonos probablemente proporcionó una mayor diversidad de nutrientes y mejoró la estructura del suelo de manera más integral en comparación con los tratamientos individuales, aunque estos efectos no fueron lo suficientemente consistentes en todas las comparaciones para alcanzar una significancia estadística.

Potencial de hidrógeno, pH

La aplicación de los tratamientos de fertilización demostró una reducción general del pH del suelo en comparación con el valor inicial de 7,1. En el caso del ají, un cultivo que prospera en suelos ligeramente ácidos (pH entre 5,5 y 6,8), esta acidificación puede ser beneficiosa, ya que favorece la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales como el fósforo, el hierro y el manganeso [18].

El tratamiento T3 (Mezcla), que alcanzó un pH de 6,0, mostró ser el que mayor efecto acidificante tiene sobre el suelo. Este nivel de pH se encuentra dentro del rango óptimo para el cultivo de ají, lo que sugiere que podría mejorar las condiciones de crecimiento y la absorción de nutrientes por parte de la planta. Sin embargo, es importante monitorear cuidadosamente este efecto, ya que una acidificación excesiva podría inhibir la disponibilidad de nutrientes importantes como el magnesio y el calcio, lo que afectaría negativamente al desarrollo del cultivo.

Por otro lado, los tratamientos T0 y T2 presentaron valores de pH más controlados y consistentes, lo que indica un impacto moderado en la acidificación del suelo. Estos tratamientos parecen generar un ambiente de suelo más estable, lo que podría ser ventajoso para el manejo a largo plazo del suelo en cultivos sucesivos de ají. La consistencia de las

mediciones sugiere que estos tratamientos son menos propensos a variaciones bruscas en la acidez del suelo, lo que puede contribuir a una mayor predictibilidad en el rendimiento del cultivo. La mayor variabilidad en las mediciones de pH se encontró en los tratamientos T1 e Inicial. Este comportamiento podría indicar que estos tratamientos no son ideales para garantizar condiciones óptimas y uniformes de suelo para el cultivo de ají.

Los datos del pH del suelo, evaluados en esta prueba, no presentan desviaciones significativas de la normalidad ($0,1313 > 0,05$). Esto permite el uso de técnicas estadísticas paramétricas para analizar el efecto de los tratamientos de fertilización sobre el pH. El valor p menor que 0,05 es extremadamente bajo ($p = 7,15E-08$), lo que implica que hay una diferencia significativa entre las medias de los diferentes tratamientos de fertilización con respecto al pH del suelo. Los resultados del análisis de Tukey revelaron que hay diferencias significativas entre todos los tratamientos en comparación con los valores iniciales de pH del suelo T0 ($p = 9,05E-05$), T1 ($p = 2,66E-07$), T2 ($p = 1,97E-04$) y T3 ($p = 8,34E-08$). Esto indica que cada uno de los tratamientos utilizados afecta el pH de manera notable.

La aplicación de fertilizantes, especialmente aquellos que contienen compuestos ácidos o bases, puede alterar el pH del suelo, ya que estos productos químicos pueden reaccionar con los componentes del suelo y afectar la disponibilidad de nutrientes [19]. Esto es consistente con el hallazgo de que todos los tratamientos utilizados afectaron notablemente el pH del suelo, con valores p extremadamente bajos, que indican significancia estadística. También hay diferencias significativas entre T0 y T1 ($p = 2,51E-04$), T0 y T3 ($p = 2,83E-05$), T1 y T2 ($p = 1,14E-04$), así como entre T2 y T3 ($p = 1,46E-05$), las cuales indican que la naturaleza del fertilizante juega un papel importante en la modificación del pH. Se ha reportado que los fertilizantes orgánicos tienden a aumentar la acidez del suelo debido a su contenido de materia orgánica, mientras que los fertilizantes inorgánicos pueden tener un efecto más variable, dependiendo de su composición química [20].

Conductividad eléctrica, C.E.

Todos los tratamientos redujeron la conductividad eléctrica del suelo en comparación con el valor inicial. T0 fue el tratamiento que más redujo la conductividad en la muestra de suelo, lo que crea un entorno más adecuado para el cultivo del ají, mejorando la disponibilidad de nutrientes esenciales y facilitando el crecimiento saludable de la planta. Se ha reportado que los suelos con baja conductividad eléctrica tienen una menor concentración de sales lo que permite una mejor absorción de nutrientes, como el potasio, el fósforo y el nitrógeno [21], que son importantes para el desarrollo del ají.

Las comparaciones entre el valor Inicial y T0 ($p = 1,01E-03$) y entre Inicial y T1 ($p = 0,01371$) son estadísticamente significativas. Esto indica que los tratamientos T0 y T1

provocaron una reducción en la conductividad eléctrica en comparación con el estado inicial del suelo. Se ha explicado en otros trabajos que las enmiendas orgánicas, como el compost y otros tratamientos similares, mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo, favoreciendo la disminución de la conductividad eléctrica debido a una mejor estructura del suelo y a un incremento en la actividad biológica que ayuda a reducir la acumulación de sales solubles [22]. En particular, los tratamientos como el Bocashi han sido reconocidos por su capacidad para reducir la salinidad del suelo, lo que se refleja en los menores valores de conductividad eléctrica en comparación con el estado inicial del suelo.

Entre los tratamientos, la única diferencia significativa observada es entre T0 y T3 ($p = 0,01371$). Esto puede explicarse por las propiedades fisicoquímicas distintas de cada tratamiento y su impacto en la dinámica de las sales solubles en el suelo. El Bocashi (T0) es un fertilizante orgánico fermentado que mejora la estructura del suelo y promueve la actividad microbiana, lo que favorece la lixiviación de sales y la reducción de la conductividad eléctrica [23].

Por otro lado, aunque el tratamiento T3 (mezcla) también fue favorable en términos de reducir la conductividad eléctrica (ya que no presenta una diferencia significativa frente al valor inicial), la diferencia significativa entre T0 y T3 ($p = 0,01371$) sugiere que T0 fue más efectivo que T3. En este sentido, se puede concluir que T0 fue el tratamiento más favorable en la reducción de la salinidad del suelo, mientras que T3 también tuvo un efecto beneficioso, pero menor en comparación. Las demás comparaciones entre tratamientos no muestran diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que T1, T2 y T3 tienen efectos similares entre ellos y con respecto a T0 en términos de conductividad eléctrica.

Capacidad de Intercambio Catiónico, C.I.C.

Todos los tratamientos incrementaron la C.I.C. en comparación con el valor inicial, lo que propende a mejorar la capacidad del suelo para retener nutrientes [24]. Esto es particularmente relevante para el cultivo del ají, que requiere suelos fértiles para un óptimo crecimiento. Un suelo con una alta C.I.C. es básico para el ají, ya que este cultivo demanda una buena disponibilidad de nutrientes durante todas sus fases de crecimiento [25]. Los tratamientos T1 y T3 parecen ser los más prometedores para maximizar la fertilidad del suelo y, por lo tanto, mejorar los rendimientos del cultivo.

El valor de $p = 0,01019$ es menor que el nivel de significancia de 0,05, lo que indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de las muestras. Existe una diferencia altamente significativa entre los valores iniciales del C.I.C. y el tratamiento T1 ($p = 0,001015$). Esto indica que el tratamiento T1 provocó un aumento notable en la capacidad de intercambio catiónico en comparación con el estado inicial del suelo. En ese

sentido, el uso de enmiendas o materiales orgánicos ricos en nutrientes tienen la capacidad de mejorar la actividad microbiológica, las condiciones físicas y biológicas del suelo, aumentar la retención de cationes y, en consecuencia, incrementar la C.I.C. del suelo [26]. Este proceso ocurre porque los compuestos orgánicos liberan cationes que pueden ser retenidos por las partículas de arcilla y la materia orgánica del suelo, lo que explica el aumento significativo observado en el tratamiento T1.

También se encontró diferencias significativas entre el valor inicial y T3 ($p = 0,01762$), lo que sugiere que el tratamiento T3 tuvo un impacto significativo en el aumento del C.I.C. El hecho de que T3 también haya mostrado una mejora significativa sugiere que los componentes del tratamiento mixto favorecen el aumento de la C.I.C., posiblemente debido a una combinación de material orgánico y otros elementos que tiene el potencial de reestablecer las concentraciones de los cationes intercambiables aumentando su disponibilidad para las plantas [27].

Contenido de calcio

Se encontró que el tratamiento T2, mostró un aumento significativo en los niveles de calcio ($3,4 \pm 0,2$), esto podría estar relacionado con la composición mineral del fertilizante aplicado. Los fertilizantes minerales inorgánicos tienen un impacto directo sobre la concentración de ciertos nutrientes en el suelo, como el calcio, debido a su alta disponibilidad en formas que las plantas pueden absorber fácilmente [28]. En cambio, los fertilizantes orgánicos como el Bocashi (T0) tienden a mejorar la estructura y la retención de nutrientes en el suelo, pero no siempre promueven aumentos inmediatos en el contenido de elementos específicos como el calcio. Los resultados del tratamiento T3 (mezcla), mostró una notable disminución en los niveles de calcio, lo que puede deberse a la presencia de componentes que promueven la lixiviación de este elemento o que interfieren con su absorción, esto sugiere que algunas mezclas de fertilizantes pueden modificar la dinámica de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes [29].

El valor de $p = 5,68E-12$ es menor que el nivel de significancia de 0,05, lo que indica que hay una diferencia altamente significativa entre las medias de los niveles de calcio en los distintos tratamientos. Las diferencias entre T2 y todos los demás tratamientos T0 ($p = 1,15E-03$), T1 ($p = 1,27E-04$), T3 ($p = 1,49E-06$), Inicial ($p = 8,67E-03$) son estadísticamente significativas, lo que indica que T2 tiene un efecto mucho más pronunciado en el aumento de calcio. T3 también presenta diferencias significativas con todos los tratamientos, especialmente con el valor inicial ($p = 7,91E-05$) y con T2 ($p = 4,60E-04$), sugiriendo que provoca una reducción más pronunciada en los niveles de calcio.

Contenido de magnesio

Todos los tratamientos (T0, T1, T2 y T3) incrementan significativamente los niveles de magnesio en el suelo en comparación con el valor inicial. El tratamiento T1 es el más efectivo, con el mayor incremento en los niveles de magnesio, aunque con mayor error en los resultados (4,1; 0,4), seguido de T0 (3,9; 0,2) y T3 (2,86; 0,09). T2 (2,596; 0,001) tuvo el menor incremento relativo, aunque sigue siendo considerable en comparación con el valor inicial. Otros trabajos han señalado que los fertilizantes orgánicos y minerales influyen significativamente en la capacidad del suelo para retener cationes como el magnesio, mejorando su disponibilidad para las plantas [30]. En particular, los fertilizantes minerales pueden causar un aumento rápido de nutrientes como el magnesio, aunque presentan una mayor variabilidad en los resultados debido a factores como la disolución y absorción por parte del suelo, lo que podría explicar el mayor error en el tratamiento T1. También destaca que los fertilizantes orgánicos, como el T0, mejoran la estructura del suelo y, aunque aumentan los niveles de magnesio, tienden a hacerlo de manera más gradual y con menor variabilidad en los resultados.

Los resultados indican que hay diferencias significativas entre al menos uno de los tratamientos en cuanto a los niveles de magnesio ($0,01212 < 0,05$). Por lo tanto, es recomendable realizar un análisis post-hoc, como la prueba de Dunn, para identificar específicamente cuáles tratamientos presentan diferencias significativas entre ellos.

Los resultados sugieren que tanto los tratamientos T0 ($p = 0,0047$) y T1 ($p = 0,003487$) incrementaron significativamente los niveles de magnesio en comparación con el valor inicial, así como T0 en comparación con T2 ($p = 0,04461$). Por otro lado, las comparaciones con el tratamiento T3 no muestran diferencias significativas con la mayoría de los tratamientos, lo que podría indicar que su efecto en el aumento de magnesio no es tan pronunciado. Estos hallazgos resaltan la efectividad de T0 y T1 para aumentar los niveles de magnesio en el suelo en comparación con los otros tratamientos. La aplicación de fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, tiene un impacto notable en los indicadores de nutrientes del suelo, con un efecto más pronunciado en suelos con baja fertilidad inicial [31]. Además, sugiere que ciertos tratamientos son más eficaces que otros para aumentar los niveles de nutrientes específicos, lo que coincide con los hallazgos del estudio.

Contenido de potasio

El resultado ($0,013 < 0,05$) indica que al menos un tratamiento tiene un efecto distinto sobre los niveles de potasio en el suelo, lo que justifica un análisis post-hoc para determinar cuáles grupos específicos son diferentes entre sí. Los tratamientos T1 ($p = 0,003$) y T3 ($p = 0,022$) incrementan significativamente los niveles de potasio en comparación con el valor inicial, lo que sugiere una mejora en la disponibilidad de este nutriente esencial para

el crecimiento de las plantas.

Este aumento en la disponibilidad de potasio es importante para procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la regulación hídrica en las plantas, lo que contribuye a un crecimiento óptimo [32]. Además, la diferencia significativa entre T1 y T2 ($p = 0,008$) sugiere que T1 es más efectivo en este aspecto, mientras que T2, aunque efectivo, no logra el mismo incremento que T1.

Contenido de nitrógeno

Los valores de nitrógeno para todos los tratamientos son significativamente más bajos que el valor inicial (45). Esto sugiere que, a pesar de la aplicación de los tratamientos, no se alcanzan niveles óptimos de nitrógeno en el suelo o en las plantas, lo que podría ser un indicativo de la efectividad limitada de las formulaciones utilizadas. El tratamiento T2 presenta la mediana más alta (6,5), lo que indica que, entre los tratamientos evaluados, es el más efectivo para aumentar los niveles de nitrógeno en el suelo. Los tratamientos T0 (Bocashi), T1 y T3 (mezcla), mostraron que, aunque son efectivos, no logran incrementar significativamente los niveles de nitrógeno en comparación con T2. La limitada capacidad de los tratamientos para aumentar los niveles de nitrógeno puede tener repercusiones importantes en la salud del suelo y el crecimiento de las plantas. El nitrógeno es un nutriente esencial para el desarrollo vegetal, y su deficiencia puede limitar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos [33]. No obstante un exceso de nitrógeno trae como consecuencia un desarrollo vegetativo acelerado y excesivo, resultando en la ruptura de ramas [34].

Los resultados del análisis post-hoc sugieren que tanto el tratamiento T0 ($p = 0,006$) como T1 ($p = 0,039$) y T3 ($p = 0,022$) fueron efectivos para incrementar los niveles de nitrógeno en comparación con el tratamiento inicial. Se ha demostrado que la aplicación de enmiendas orgánicas, como el Bocashi (T0), puede mejorar significativamente los niveles de nitrógeno en el suelo, lo que se traduce en un aumento en la fertilidad y, por ende, en el rendimiento de los cultivos [35]. Este incremento se atribuye a la capacidad de estas enmiendas para liberar nutrientes de manera gradual y sostenida.

En este contexto, otros trabajos han investigado las mezclas de fertilizantes orgánicos y minerales (como en el tratamiento T3) pueden ser más efectivas que los fertilizantes convencionales, ya que favorecen la interacción entre los nutrientes y la microbiota del suelo, mejorando así la disponibilidad de nitrógeno para las plantas [36].

Contenido de fósforo

Los resultados sugieren que la combinación de fertilizantes orgánicos y minerales (T3) es

la más efectiva para incrementar los niveles de fósforo en el suelo, lo que es crucial para el crecimiento de las plantas, dado que el fósforo es un nutriente esencial que influye en el desarrollo radicular y la floración.

El descenso en los niveles de fósforo en los tratamientos T0 y T1 resalta la importancia de utilizar enmiendas adecuadas para mantener la fertilidad del suelo. Esto es consistente con investigaciones previas que han indicado que las enmiendas orgánicas por sí solas pueden no proporcionar suficientes nutrientes, especialmente fósforo, a menos que se utilicen en combinación con fertilizantes minerales [37].

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indicaron que hay diferencias significativas en los niveles de fósforo entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,009 < 0,005$). Los resultados sugieren que el tratamiento T1 muestra una mejora significativa en comparación con el valor inicial ($p = 0,014$), indicando que la aplicación de este tratamiento es efectiva para aumentar los niveles de fósforo en el suelo. Además, el hecho de que T3 sea significativamente diferente de T0 ($0,014$) sugiere que esta combinación tiene un efecto positivo más notable sobre la disponibilidad de fósforo. La diferencia significativa observada entre T1 y T3 ($p = 0,001$) indica que, aunque ambos tratamientos son efectivos, T1 tiene un efecto más pronunciado en el incremento de fósforo.

Propiedades físicas

En la Tabla 3, se presentan los resultados para la capacidad de retención de humedad y los porcentajes de arena, limo y arcilla que permiten determinar la textura del suelo en estudio.

Tabla 3. Propiedades físicas de las muestras de suelos en cultivo de ají bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamiento	% R.H.	% Arcilla	% Limo	% Arena
Inicial	20,8± 0,2	19±2	23±2	58±1
T0 Orgánica Mineral (agro húmicos Plus)	31,5±0,5	11±3	24±2	61±2
T1 mpm Inorgánico (N, P, K)	31,6±0,1	16±3	20±3	57±5
T2	28,7±0,1	11±3	26±2	57±3
T3 (Mezcla) (agro húmicos Plus + mpm)	32±0,7	13±1	31±3	59±1

Se reporta el promedio y la desviación estándar para $n=3$.

Retención de humedad, R.H.

En el tratamiento inicial el porcentaje de retención de humedad resultó el más bajo, con un promedio de 20,8 %. Esto sugiere que, sin tratamiento adicional, la capacidad del suelo para retener humedad es limitada. Con un promedio de 31,5 %, T0 muestra un incremento en la R.H en comparación con el valor inicial. La mejora sugiere que los

componentes húmicos orgánicos mejoran la estructura del suelo, lo que contribuye a una mayor capacidad para retener agua. El promedio del 31,6 % de T1 es similar a T0, lo que indica que la fertilización inorgánica también tiene un efecto positivo en la retención de humedad. Los fertilizantes inorgánicos como el N, P y K pueden aumentar la capacidad del suelo para mantener la humedad debido a su interacción con las partículas del suelo [38].

El valor de 28,7 %, aunque el T2 efectivo, no alcanza los niveles de retención de T0 y T1. Esto sugiere que la composición de este tratamiento puede no ser tan eficiente en la mejora de la retención de agua. T3 presenta la mayor retención de humedad con una mediana de 32 %. La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales parece tener un efecto sinérgico, mejorando la estructura del suelo y su capacidad para retener agua. Esto refleja que los tratamientos con fertilizantes, tanto orgánicos como inorgánicos, mejoran la capacidad del suelo para retener humedad. En este sentido, los componentes orgánicos, como los ácidos húmicos, mejoran la estructura del suelo al aumentar la capacidad de intercambio catiónico y la porosidad, lo que facilita la retención de agua [39]. Este fenómeno es consistente con los resultados encontrados en T0.

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis indican que hay diferencias significativas en los niveles de retención de humedad entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,02306 < 0,005$). Las comparaciones entre el grupo Inicial y los grupos T0 ($p = 0,03576$), T1 ($p = 0,01371$) y T3 ($p = 0,004656$) demuestra que hay diferencias significativas. Esta diferencia puede explicarse por los mecanismos que los fertilizantes orgánicos y minerales promueven en el suelo.

El tratamiento T3, que combina ambos tipos de fertilización, presenta la retención de humedad más alta, lo que refleja un efecto sinérgico que mejora las propiedades físicas del suelo, haciéndolo más eficiente en términos de retención de agua, esto es coherente con otros trabajos que destacan los beneficios de combinar materia orgánica con fertilizantes inorgánicos para maximizar la eficiencia de los suelos agrícolas [16].

Arcilla

El valor inicial de arcilla en el suelo es el más alto (19 ± 2), lo que indica que, antes de cualquier tratamiento, el contenido de arcilla es relativamente elevado. Tras la aplicación de fertilización orgánica (Bocashi), el contenido de arcilla disminuye significativamente en comparación con el valor inicial (11 ± 3). Esto sugiere que el uso de Bocashi mejora la estructura del suelo, aumentando la porosidad y reduciendo la proporción de partículas finas como la arcilla, lo que podría favorecer mejores condiciones para el crecimiento de las plantas [40]. T1 tiene un impacto menor sobre el contenido de arcilla en comparación con T0, pero aún muestra una reducción respecto al estado inicial. Esto puede ser debido

a que los minerales mejoran la estructura física del suelo sin reducir drásticamente las partículas de arcilla.

T2 produjo un efecto similar al de T0, con una reducción notable de la arcilla en el suelo. La similitud en los resultados entre estos dos tratamientos podría indicar que ambos tienen un impacto similar en las propiedades del suelo relacionadas con la cantidad de arcilla. T3 mostró un valor de arcilla intermedio, lo que sugiere que este tratamiento logra equilibrar los efectos de ambos tipos de fertilización, mejorando la estructura del suelo sin reducir drásticamente la cantidad de arcilla.

El valor de p es menor a 0,05, lo que indica que hay una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Esto significa que los tratamientos aplicados influyen significativamente en el contenido de arcilla en el suelo ($0,04048 < 0,005$).

Los resultados del análisis ANOVA indicaron una diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la cantidad de arcilla presente en el suelo. Sin embargo, el análisis de Tukey, que compara pares de tratamientos, muestra que esas diferencias no son lo suficientemente grandes como para ser consideradas estadísticamente significativas entre tratamientos individuales. Esto indica que, aunque los tratamientos pueden tener un impacto en la distribución de arcilla, la variación entre ellos no es lo bastante marcada. Esto puede deberse a que las propiedades físicas del suelo, como la proporción de arcilla, son más difíciles de modificar significativamente en el corto plazo mediante la fertilización, dado que los componentes como la arcilla son relativamente estables y no responden de manera inmediata a intervenciones externas.

En términos prácticos, esto podría indicar que, aunque los tratamientos utilizados mejoran otros aspectos del suelo, como la retención de humedad o los niveles de nutrientes, su capacidad para modificar la composición de arcilla es limitada, o requiere más tiempo o intervenciones más agresivas para manifestarse.

Limo, L

El valor inicial de limo en el suelo fue de 23 %, lo que representa la base para evaluar cómo los diferentes tratamientos modifican el contenido de limo. T0 mostró un ligero incremento en el contenido de limo (24 %) en comparación con el valor inicial, pero no es un cambio significativo. Esto sugiere que este tratamiento orgánico no afecta de manera drástica el limo del suelo. T1 mostró una disminución en el contenido de limo (20 %). Esto puede deberse a que el tratamiento orgánico mineral podría estar afectando la estructura del suelo de forma que aumenta la proporción de otros componentes (como arena o arcilla), disminuyendo la presencia relativa del limo. T2 aumentó el contenido de limo a 26 %. Esto indica que los fertilizantes inorgánicos pueden tener un efecto en

la estabilidad de la estructura del suelo, promoviendo un ligero incremento en el limo. T3 generó el mayor incremento en el limo (31 %), lo que indica un efecto sinérgico entre ambos tipos de fertilizantes, que podría mejorar la capacidad del suelo para retener partículas más finas como el limo, lo que a su vez podría mejorar su capacidad de retención de agua y nutrientes [41].

Los resultados de la prueba ANOVA indican que no hay diferencias significativas en los niveles de limo entre al menos algunos de los tratamientos evaluados ($0,197 > 0,005$). La falta de significancia sugiere que ninguno de los tratamientos aplicados en el estudio (orgánico, inorgánico, o mezclas) genera un cambio claro o sistemático en la cantidad de limo en el suelo en comparación con los otros tratamientos. Esto puede indicar que el limo no responde de manera drástica a los tratamientos de fertilización en este experimento, o que las diferencias observadas no fueron lo suficientemente consistentes para ser estadísticamente concluyentes.

Arena

Las variaciones en los valores de arena entre los tratamientos son mínimas. Esto sugiere que, a pesar de las diferentes formulaciones de fertilización, el contenido de arena en el suelo permanece relativamente estable y no es significativamente alterado por estos tratamientos. Esta falta de respuesta puede explicarse en parte por la naturaleza física y química de la arena en el suelo. La arena, al ser una fracción del suelo de mayor tamaño y compuesta principalmente por minerales resistentes a la alteración química, como el cuarzo, no suele verse afectada significativamente por la fertilización, que impacta más en fracciones con mayor capacidad de intercambio de nutrientes, como el limo o la arcilla [42].

Estos autores explican que las partículas de arena contribuyen principalmente a la estructura y la porosidad del suelo, mientras que las fracciones más pequeñas, como el limo y la arcilla, son las que realmente intervienen en las reacciones químicas y en la retención de nutrientes. Esto respalda la observación de que el contenido de arena es estable y no sufre alteraciones significativas con la fertilización, ya que los nutrientes aplicados son retenidos en mayor medida en las fracciones más finas del suelo.

La prueba ANOVA para los valores de arena muestra que no hay una diferencia significativa entre los tratamientos ($0,486 > 0,05$). Esto indica que los diferentes tipos de fertilización aplicados no tuvieron un efecto notable en los niveles de arena en el suelo, y las variaciones observadas entre las medias de los tratamientos se deben probablemente al azar.

Este resultado implica que, en el contexto del experimento, el tipo de fertilización no afectó sustancialmente la proporción de arena en el suelo, lo cual puede deberse a la

estabilidad física de la fracción arenosa del suelo. Las partículas más grandes del suelo, como la arena, son menos reactivas a las modificaciones químicas o biológicas inducidas por la fertilización, debido a su menor área superficial en comparación con partículas más pequeñas como el limo o la arcilla [43].

Propiedades biológicas

Respiración basal, R.B.

T0 y T1 presentan los valores más altos de respiración basal, con medias de 8,4 y 8,7 respectivamente, lo cual sugiere una alta actividad microbiana, posiblemente debido a la disponibilidad de compuestos orgánicos fácilmente degradables en el suelo [44]. T2 y T3 muestran valores de respiración basal más bajos, con medias de 7,2 y 7,7 respectivamente. La fertilización inorgánica suele tener un impacto menor en la respiración basal en comparación con la orgánica, ya que no aporta directamente materia orgánica que los microorganismos puedan utilizar de inmediato [45].

La diferencia encontrada en los valores puede interpretarse como una indicación de que los tratamientos con fertilización orgánica promueven una mayor actividad microbiana en el suelo que los tratamientos inorgánicos o mixtos. Esto es coherente con la literatura científica que sugiere que los suelos tratados con fertilizantes orgánicos tienden a mostrar una respiración basal más alta debido al aporte de carbono orgánico que estimula la biomasa microbiana [46].

El valor de p es menor a 0,05, lo que indica que hay una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos. Esto significa que los tratamientos aplicados influyen significativamente en la respiración basal en el suelo ($0,015 < 0,005$). La diferencia significativa entre T1 y T2 podría explicarse por las diferencias en la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiológica asociada con los fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Los fertilizantes orgánicos suelen incrementar la actividad microbiológica y la respiración del suelo debido a la descomposición de materia orgánica, lo cual no es necesariamente el caso con los fertilizantes inorgánicos, que proveen nutrientes en formas que pueden ser rápidamente asimiladas, pero sin estimular del mismo modo la actividad biológica del suelo [47]. Este contraste es congruente con los resultados observados, donde el tratamiento orgánico mineral (T1) presenta una diferencia significativa en comparación con el inorgánico mineral (T2).

Análisis de parámetros biométricos del desarrollo de las plantas de ají para los diferentes tratamientos aplicados

Los datos de los parámetros biométricos obtenidos en el desarrollo de las plantas de ají

bajo diferentes tratamientos de fertilización se presentan en la Tabla 4. Los parámetros observados incluyen el número de hojas, la altura de la planta en centímetros y el diámetro del tallo en milímetros, medidos en intervalos de 19, 38 y 61 días.

Tabla 4. Parámetros biométricos de plantas de ají bajo diferentes tratamientos de fertilización.

TRATAMIENTO	DÍAS	Nº HOJAS	ALTURA PLANTA (cm)	DIÁMETRO TALLO (mm)
T0	19	13,8	7,8	2,5
	38	20,2	20,2	3,6
	61	13,8	25,5	6,1
T1	19	8,2	10,3	2,4
	38	13,9	13,5	2,9
	61	13,6	17,2	4,4
T2	19	12,4	8,6	2,4
	38	19,8	20,5	4
	61	12,4	28,6	6,8
T3	19	9,3	14,4	2,6
	38	27,6	26,6	4,6
	61	9,3	28	7,8

Las plantas bajo el tratamiento T0, a los 19 días desde la siembra presentaban un crecimiento moderado, con una altura de 7,8 cm, un diámetro de tallo de 2,5 mm y un número promedio de 13,8 hojas. Sin embargo, para el día 38, el crecimiento se aceleró, alcanzando 20,2 cm en altura y un diámetro de 3,6 mm, con un aumento en el número de hojas (20,2). Para el día 61, la altura final fue de 25,5 cm y el diámetro del tallo de 6,1 mm, aunque el número de hojas se estabilizó en 13,8, lo que sugiere que el Bocashi favorece principalmente el crecimiento en altura y grosor del tallo durante las etapas más avanzadas del cultivo.

El tratamiento T1 mostró un inicio más lento, con un promedio de 8,2 hojas, una altura de 10,3 cm y un diámetro de tallo de 2,4 mm al día 19. Al llegar al día 38, las plantas crecieron de manera moderada a 13,5 cm de altura, con un diámetro de 2,9 mm y 13,9 hojas. Para el día 61, la altura se estabilizó en 17,2 cm y el diámetro aumentó a 4,4 mm, mientras el número de hojas se mantuvo en 13,6. Estos resultados indican que el T1 promueve un crecimiento estable y uniforme, aunque a un ritmo más moderado comparado con otros tratamientos.

El tratamiento T3 tuvo un impacto inicial moderado, con las plantas alcanzando 8,6 cm de altura, un diámetro de 2,4 mm y 12,4 hojas al día 19. Sin embargo, a los 38 días, las plantas mostraron un crecimiento más acentuado, alcanzando 20,5 cm de altura y un diámetro de tallo de 4,0 mm, con un aumento de hojas a 19,8. Al día 61, la altura llegó a 28,6 cm y el diámetro del tallo a 6,8 mm, con el número de hojas manteniéndose en 12,4.

Desde el inicio, el tratamiento T4 mostró resultados notables, con las plantas alcanzando

14,4 cm de altura, un diámetro de 2,6 mm y un promedio de 9,3 hojas al día 19, superando a los demás tratamientos en términos de altura. Para el día 38, el crecimiento fue notablemente acelerado, con las plantas alcanzando 26,6 cm de altura, 4,6 mm de diámetro y 27,6 hojas, lo que representa el crecimiento más rápido en todas las dimensiones. Al llegar al día 61, la altura se mantuvo en 28 cm y el diámetro creció a 7,8 mm, aunque el número de hojas se redujo a 9,3, sugiriendo que la combinación de fertilizantes promueve un desarrollo rápido en etapas iniciales y medias, estabilizándose después. Las figuras 15, 16 y 17 permiten observar los resultados mencionados.

Estos resultados son coherentes con lo que se ha reportado en la literatura sobre el uso de fertilizantes orgánicos y combinaciones de fertilizantes orgánico-inorgánico en cultivos. Los fertilizantes orgánicos pueden mejorar la estructura del suelo y la retención de agua, lo cual favorece el desarrollo de las raíces y el crecimiento de la planta. Por otro lado, la aplicación de fertilizantes inorgánicos aporta nutrientes rápidamente disponibles, lo que potencia el crecimiento en altura y el diámetro del tallo en etapas iniciales del cultivo [47]. En combinación, estos efectos se complementan y maximizan el desarrollo general de la planta, lo cual coincide con los resultados observados en el tratamiento T3.

La Tabla 5 presenta los datos biométricos de los frutos de ají en función de diferentes tratamientos de fertilización a lo largo de 77, 83 y 112 días. Al observar los resultados, se evidencian variaciones en el número de frutos cosechados, su peso, y las longitudes ecuatoriales y axiales, que sugieren efectos específicos de cada tratamiento en el desarrollo de los frutos de ají.

Tabla 5. Datos biométricos de los frutos de ají según tratamientos.

TRATAMIENTO	DÍAS	Nº FRUTOS	FRUTOS COSECHADOS	PESO (g)	LONGITUD ECUATORIAL (mm)	LONGITUD AXIAL (mm)
T0	77	7	1	9	27	26
	83	10	4	9	25	28
	112	2	5	8	23	30
T1	77	7	5	5	23	28
	83	9	5	8	23	30
	112	2	6	6	19	24
T2	77	3	4	8	38	41
	83	14	12	7	25	30
	112	3	8	7	23	28
T3	77	8	6	10	33	37
	83	19	14	8	25	32
	112	8	15	7	22	27

El tratamiento T0 con Bocashi muestra un número moderado de frutos cosechados y un peso promedio estable de 8 a 9 gramos, con dimensiones ecuatoriales y axiales alrededor

de 23-30 mm en los días 83 y 112. Este comportamiento sugiere que el Bocashi promueve un crecimiento de frutos estable y balanceado, aunque no tan intensivo como otros tratamientos en cuanto a la cantidad total de frutos. Se ha reportado que el compostaje y abonos orgánicos como Bocashi aumentan la materia orgánica del suelo, favoreciendo el desarrollo estructural de las plantas en etapas avanzadas del cultivo [48].

En el tratamiento T1, los frutos presentan un peso algo menor (5-8 gramos) en comparación con otros tratamientos, y las dimensiones ecuatoriales y axiales oscilan entre 19 y 30 mm. Esto sugiere que el T1 promueve la producción de frutos, aunque con una menor ganancia en peso y tamaño. Los fertilizantes orgánicos líquidos como el T1 tienden a proporcionar nutrientes en forma rápidamente disponible, lo cual puede fomentar el crecimiento inicial de la planta, pero a veces sin optimizar el peso final del fruto [49]. Esto podría explicar por qué los frutos son más numerosos, aunque no tan robustos en comparación con otros tratamientos.

El tratamiento T2 muestra un alto número de frutos cosechados a los 83 días (12 frutos), aunque con un peso medio de 7-8 gramos y dimensiones ecuatoriales y axiales que rondan los 23-41 mm. Estos resultados sugieren que el T2 favorece la producción de frutos de tamaño considerable, en particular en la etapa media de cultivo (83 días). La fertilización inorgánica aporta rápidamente nitrógeno, fósforo y potasio en forma soluble, acelerando el crecimiento de los frutos y el desarrollo vegetativo, tal como señala [13]. Esto explica el tamaño relativamente grande de los frutos en la fase intermedia del cultivo.

El tratamiento T3 resultó en una mayor cantidad de frutos en el periodo de 83 y 112 días, con dimensiones ecuatoriales y axiales promedio de 25-32 mm y un peso estable de alrededor de 7-10 gramos. Esta combinación parece ser la más efectiva para producir una gran cantidad de frutos, manteniendo un peso y tamaño uniforme. La sinergia entre fertilizantes orgánicos e inorgánicos puede maximizar la disponibilidad de nutrientes en las diferentes fases del crecimiento de la planta, como lo destaca [41]. La mezcla de T3 combina las ventajas de la liberación lenta de nutrientes del T1 y la absorción rápida del T2, promoviendo un desarrollo más uniforme y vigoroso de los frutos.

Análisis estadísticos de parámetros biométricos

Número de hojas

Se procedió a aplicar la prueba de normalidad para determinar la distribución de la muestra y elegir la prueba estadística más adecuada.

El valor p (0,8567) es mayor que el nivel de significancia comúnmente utilizado (0,05), lo que sugiere que no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, no hay evidencia suficiente

para afirmar que existen diferencias significativas entre las medias del número de hojas en los grupos analizados.

Altura de la planta

La prueba de normalidad sugiere que los datos de altura de la planta en los tratamientos analizados presentan una distribución normal ($0,2958 > 0,005$). El valor p ($0,5734$) es mayor que el umbral común de $0,05$, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las medias de altura de las plantas en los diferentes grupos analizados. Por lo tanto, no hay evidencia suficiente para afirmar que existen diferencias significativas en la altura de las plantas entre los grupos evaluados.

Diámetro del tallo

El valor p ($0,7574$) es mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias del diámetro del tallo entre los grupos analizados.

Frutos

El valor p ($0,5356$) es mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de los frutos entre los grupos analizados.

Frutos cosechados

El valor p ($0,07102$) fue mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de los frutos cosechados entre los grupos analizados.

Esto implica que las condiciones experimentales o tratamientos aplicados pueden no haber tenido un impacto significativo en la cantidad de frutos cosechados. Sin embargo, dado que el p-valor está cerca del umbral de significancia, podría ser valioso considerar el aumento del tamaño de la muestra o explorar más a fondo los efectos de los diferentes tratamientos, ya que se podrían estar observando diferencias que merecen una investigación adicional.

Masa

El valor p ($0,1335$) fue mayor que el umbral común de $0,05$. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de las masas entre los grupos analizados.

Longitud ecuatorial

El valor p (0,3326) es mayor que el umbral común de 0,05. Esto quiere decir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medianas de la longitud ecuatorial entre los grupos analizados. Esto implica que, a pesar de las diferencias observadas en los datos, estas no son suficientemente significativas como para concluir que existen variaciones reales en las medianas entre los grupos analizados.

Longitud axial

El valor p (0,4027) es mayor que el umbral común de 0,05. Esto quiere decir que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias significativas en las medias de la longitud axial entre los grupos analizados. Esto significa que las diferencias observadas en la longitud axial entre los grupos probablemente se deban al azar y no a un efecto real.

Análisis de productividad del cultivo de ají para los diferentes tratamientos aplicados

El análisis de productividad del cultivo de ají en relación con los diferentes tratamientos aplicados permitió evaluar la eficacia de las prácticas empleadas para mejorar el rendimiento por hectárea. A continuación, en la Figura 2, se presentan los resultados obtenidos con su respectiva discusión.

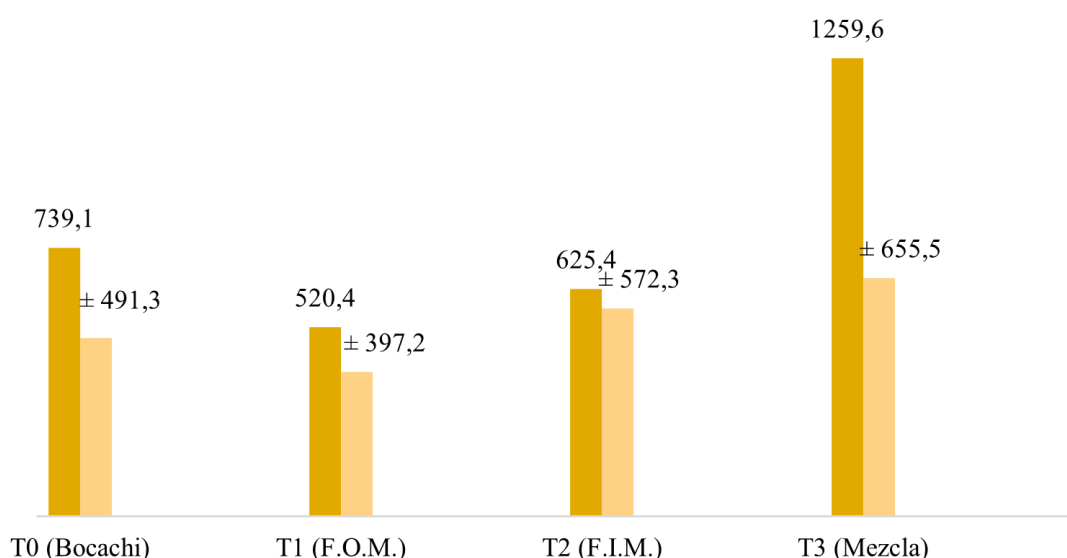


Figura 2. Promedio de Productividad (kg/ha) y márgenes de variabilidad ($\pm \Delta X$) del Cultivo de Ají (*Capsicu, annuum*) según tratamientos aplicados.

Los resultados muestran (Figura 2) que no existen diferencias estadísticamente significativas en la productividad del cultivo de ají entre los tratamientos aplicados (T0, T1,

T2 y T3), tal como lo indica el valor de $p = 0,40$ el cual es superior al nivel de significancia de 0,05. Este resultado podría atribuirse a un tamaño de muestra reducido ($n = 12$) o a una elevada variabilidad intra-grupo (media cuadrática del error = 289082,000), factores que disminuyen la potencia estadística del análisis. En ese contexto, la productividad de los cultivos depende directamente de la interacción entre las prácticas de manejo, la calidad del suelo, la variedad y una apropiada fertilización [50, 51]. En la Figura 3 se muestran las etapas de siembra, desarrollo y cosecha de las plantas de ají.



Figura 3. Etapas durante la siembra, desarrollo y cosecha de las plantas de ají.

Conclusiones

Al estudiar el efecto de diferentes tratamientos de fertilización orgánica mineral e inorgánica y mezclas de ellos sobre el crecimiento y productividad de un cultivo de ají (*Capsicum annuum*), se concluye lo siguiente:

En cuanto a la influencia de los diferentes tratamientos de fertilización aplicados en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, destacó que el tratamiento T3, que combina fertilizantes orgánicos y minerales, mostró resultados positivos en varios indicadores de calidad del suelo. En particular, se observó un aumento en la materia orgánica, mejoras en la estructura del suelo, mayor capacidad de intercambio catiónico y una mayor disponibilidad de nutrientes como el fósforo. Estos efectos contribuyen a una mayor fertilidad, mejor retención de humedad y un entorno más favorable para la actividad microbiana.

En el desarrollo de las plantas de ají para los diferentes tratamientos aplicados, se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas en las variables evaluadas como el número de hojas, altura de la planta, diámetro del tallo, frutos, frutos cosechados, longitud axial y longitud ecuatorial entre los tratamientos analizados (T0, T1, T2 y T3). Lo cual indicó que las variaciones observadas en el desarrollo morfológico de las plantas pueden atribuirse al azar o a la variabilidad intrínseca del sistema experimental, y no al efecto directo de los tratamientos.

La productividad del cultivo de ají para los diferentes tratamientos aplicados, resultó que el tratamiento T3 presentó el valor promedio más alto de productividad (1259,6 kg/ha), asimismo T1 mostró la menor variabilidad ($\pm 397,2$). Sin embargo, no se encontraron

diferencias estadísticamente significativas en la productividad del cultivo de ají entre los tratamientos aplicados (T0, T1, T2 y T3). Por lo tanto se concluye que, si bien ciertos tratamientos parecen asociarse con mayores rendimientos en términos descriptivos, estos efectos no pueden atribuirse con certeza a los tratamientos aplicados, debido a que las diferencias observadas no son estadísticamente significativas.

La combinación de fertilizantes orgánicos y minerales representa una práctica agronómica beneficiosa, por lo tanto se recomienda su uso combinado como estrategia sostenible para incrementar la productividad agrícola sin deteriorar la calidad del suelo.

Financiamiento

Este trabajo fue parcialmente financiado con el respaldo institucional de la Universidad de Carabobo (Venezuela), la Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez (Venezuela) y la Universidad Estatal de Bolívar (Ecuador), en el marco de sus líneas de investigación en Gestión de Recursos Naturales y sub línea uso, manejo, conservación y mejoramiento de los suelos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Carabobo, Venezuela, a través del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA. Los autores expresan su agradecimiento a las instituciones participantes por el soporte logístico y técnico brindado para el desarrollo del presente estudio. De manera especial, se reconoce a la Escuela Popular Agroecológica Ezequiel Zamora por facilitar el acceso al terreno agrícola y por su colaboración en el seguimiento del cultivo de ají. También se agradece al personal de laboratorio por su asistencia en la toma y análisis de muestras de suelo y plantas.

Declaración de disponibilidad de datos

El autor de correspondencia puede suministrar los registros experimentales obtenidos a toda persona interesada; escribir un correo electrónico con razones justificadas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que el fertilizante orgánico mineral utilizado en este estudio, Agrohúnicos Plus, fue suministrado por la empresa PROMIVECA. No obstante, PROMIVECA no tuvo participación alguna en el diseño experimental, la ejecución del trabajo de campo, la recolección, análisis e interpretación de los datos, ni en la redacción del manuscrito o en la decisión de publicar los resultados. Este estudio fue desarrollado bajo estrictos criterios de independencia científica y académica, garantizando la objetividad y transparencia en todos los procesos de investigación.

Referencias

- [1] H. Gorski, I. Gligorea, A. Brudan, and R. Oancea, “Agile Project Management in the Age of Digital Transformation: Exploring Emerging Trends,” *Int. Conf. KNOWLEDGE-BASED Organ.*, vol. 30, no. 3, pp. 76–85, Jun. 2024, doi: 10.2478/kbo-2024-0087.ctive Multi-Skill Resource-Constrained Project Scheduling Considering Flexible Resource Profiles,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 5, p. 1921, Feb. 2024, doi: 10.3390/app14051921.
- [1] K. Islam, A. Rawoof, I. Ahmad, M. Dubey, J. Momo, and N. Ramchiary, “Capsicum annum MYB Transcription Factor Genes: Identification, Expression Analysis, and Their Conservation and Diversification With Other Solanaceae Genomes,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.721265>.
- [2] G. E. Barboza, C. C. García, L. de B. Bianchetti, M. V. Romero, and M. Scaldaferro, “Monograph of wild and cultivated chili peppers (Capsicum L., Solanaceae),” *PhytoKeys*, vol. 200, pp. 1–423, Jun. 2022, doi: <https://doi.org/10.3897/phytokeys.200.71667>.
- [3] A. Akhtar, W. Asghar, and N. Khalid, “Phytochemical constituents and biological properties of domesticated capsicum species: a review,” *Bioact. Compd. Heal. Dis.*, vol. 4, no. 9, p. 201, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i9.837>.
- [4] N. Khan et al., “Agroforestry and Its Services for Soil Management and Sustainability,” in *Sustainable Intensification for Agroecosystem Services and Management*, Singapore: Springer Singapore, 2021, pp. 353–377. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-16-3207-5_11.
- [5] H. Shaji, V. Chandran, and L. Mathew, “Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients,” in *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*, Elsevier, 2021, pp. 231–245. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>.
- [6] A. G. Gashua, Z. Sulaiman, M. M. Yusoff, M. Y. A. Samad, M. F. Ramlan, and M. A. Salisu, “Assessment of Fertilizer Quality in Horse Waste-Based Bokashi Fertilizer Formulations,” *Agronomy*, vol. 12, no. 4, p. 937, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040937>.
- [7] C. L. Phooi, E. A. Azman, and R. Ismail, “Role of Organic Manure Bokashi Improving Plant Growth and Nutrition: A Review,” *Sarhad J. Agric.*, vol. 38, no. 4, 2022, doi: <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2022/38.4.1478.1484>.
- [8] D. Panday, N. Bhusal, S. Das, and A. Ghalehgolabbbehbahani, “Rooted in Nature: The Rise, Challenges, and Potential of Organic Farming and Fertilizers in

- Agroecosystems,” *Sustainability*, vol. 16, no. 4, p. 1530, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/su16041530>.
- [9] A. Sofo, A. Zanella, and J. Ponge, “Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils,” *Soil Use Manag.*, vol. 38, no. 2, pp. 1085–1112, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12702>.
- [10] M. S. Rahman et al., “Elemental analysis in surface soil and dust of roadside academic institutions in Dhaka city, Bangladesh and their impact on human health,” *Environ. Chem. Ecotoxicol.*, vol. 3, pp. 197–208, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enccco.2021.06.001>.
- [11] J. Gerke, “The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage,” *Soil Syst.*, vol. 6, no. 2, p. 33, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>.
- [12] Y. B. Villa, S. D. S. Khalsa, R. Ryals, R. A. Duncan, P. H. Brown, and S. C. Hart, “Organic matter amendments improve soil fertility in almond orchards of contrasting soil texture,” *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, vol. 120, no. 3, pp. 343–361, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10154-5>.
- [13] Wuryantoro, R. M. Wardhani, D. S. Martono, and S. Yahayu, “Application of Bokashi Organic and Nitrogen-Phosphorous-Potassium Inorganic Fertilizers on the Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a Hydroponic System at a Green House in Madiun, Indonesia,” *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 28, no. 6, pp. 1729–1736, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.4314/jasem.v28i6.11>.
- [14] L. Dong et al., “Impact of short-term organic amendments incorporation on soil structure and hydrology in semiarid agricultural lands,” *Int. Soil Water Conserv. Res.*, vol. 10, no. 3, pp. 457–469, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.10.003>.
- [15] F. Fauzan, M. Fadhil, I. Irfan, D. Yunita, C. Erika, and R. A. Lahmer, “Study of C/N ratio of organic materials and its application in the production of natural fertilizer (bokashi),” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 951, no. 1, p. 012105, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012105>.
- [16] Y. Zhou, H. Li, W. Guo, H. Liu, and M. Cai, “The synergistic effect between biofertility properties and biological activities in vermicomposting: A comparable study of pig manure,” *J. Environ. Manage.*, vol. 324, p. 116280, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116280>.
- [17] H. Jariwala, R. M. Santos, J. D. Lauzon, A. Dutta, and Y. Wai Chiang, “Controlled

- release fertilizers (CRFs) for climate-smart agriculture practices: a comprehensive review on release mechanism, materials, methods of preparation, and effect on environmental parameters,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 36, pp. 53967–53995, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20890-y>.
- [18] T. Wangmo, S. Dorji, T. Tobgay, and T. Pelden, “Effects of Biochar on Yield of Chilli, and Soil Chemical Properties,” *Asian J. Agric. Extension, Econ. Sociol.*, pp. 64–77, May 2022, doi: <https://doi.org/10.9734/ajaees/2022/v40i930976>.
- [19] N. J. Barrow and A. E. Hartemink, “The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants,” *Plant Soil*, vol. 487, no. 1–2, pp. 21–37, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>.
- [20] N. M. Alzamel, E. M. M. Taha, A. A. A. Bakr, and N. Loutfy, “Effect of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Properties, Growth Yield, and Physiochemical Properties of Sunflower Seeds and Oils,” *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12928, Oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su141912928>.
- [21] M. W. Kang et al., “Enhancement of soil physical properties and soil water retention with biochar-based soil amendments,” *Sci. Total Environ.*, vol. 836, p. 155746, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155746>.
- [22] S. K. Bello, A. H. Alayafi, S. G. AL-Solaimani, and K. A. M. Abo-Elyousr, “Mitigating Soil Salinity Stress with Gypsum and Bio-Organic Amendments: A Review,” *Agronomy*, vol. 11, no. 9, p. 1735, Aug. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091735>.
- [23] P. Mondaca, A. Vergara, A. Velásquez, E. Lobaina, and M. Carvajal, “Comparative Effects of Compost, Bokashi, and Trichoderma on Soil and Tomato Quality in a Mediterranean Area,” *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 25, no. 1, pp. 351–362, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02137-6>.
- [24] S. Dey et al., “Enhancing cation and anion exchange capacity of rice straw biochar by chemical modification for increased plant nutrient retention,” *Sci. Total Environ.*, vol. 886, p. 163681, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163681>.
- [25] M. A. Otieno, H. I. Gitari, B. Danga, and A. N. Karuma, “Soil Properties and Fertility Management with Respect to Capsicum (*Capsicum annum* L.) Production in Nairobi Peri-urban Counties,” *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 22, no. 1, pp. 374–392, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00655-1>.
- [26] H. Bamdad, S. Papari, G. Lazarovits, and F. Berruti, “Soil amendments for sustainable agriculture: Microbial organic fertilizers,” *Soil Use Manag.*, vol. 38,

- no. 1, pp. 94–120, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12762>.
- [27] J. Xu, E. Mohamed, Q. Li, T. Lu, H. Yu, and W. Jiang, “Effect of Humic Acid Addition on Buffering Capacity and Nutrient Storage Capacity of Soilless Substrates,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.644229>.
- [28] C. N. Nikolaou, A. Chatziartemiou, M. Tsiknia, A. G. Karyda, C. Ehaliotis, and D. Gasparatos, “Calcium- and Magnesium-Enriched Organic Fertilizer and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Affect Soil Nutrient Availability, Plant Nutrient Uptake, and Secondary Metabolite Production in Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) Grown under Field Conditions,” *Agronomy*, vol. 13, no. 2, p. 482, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020482>.
- [29] Q. He, J. Qiu, M. Rao, and Y. Xiao, “Leaching Behaviors of Calcium and Aluminum from an Ionic Type Rare Earth Ore Using MgSO₄ as Leaching Agent,” *Minerals*, vol. 11, no. 7, p. 716, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/min11070716>.
- [30] C. Yu, D. J. Geisseler, P. H. Brown, and S. D. S. Khalsa, “Distribution of potassium, calcium, and magnesium ions from potassium fertilizers in columns of orchard soils,” *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 87, no. 3, pp. 572–585, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/saj2.20535>.
- [31] G. Ma et al., “Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on Soil Nutrient Conditions in Rice Fields with Varying Soil Fertility,” *Land*, vol. 12, no. 5, p. 1026, May 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/land12051026>.
- [32] M. G. Mostofa et al., “Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses,” *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 186, pp. 279–289, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.011>.
- [33] P. Barłóg, W. Grzebisz, and R. Łukowiak, “Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production,” *Plants*, vol. 11, no. 14, p. 1855, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11141855>.
- [34] S. Wang et al., “Effects of excessive nitrogen on nitrogen uptake and transformation in the wetland soils of Liaohe estuary, northeast China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 791, p. 148228, Oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148228>.
- [35] N. Aguilar-Rivera, E. Presa-Parra, and E. del Carmen Fernández-Juárez, “Organic amendments as strategies in traditional and conventional agriculture in developing countries,” in *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change*, Cham: Springer International Publishing, 2024, pp. 1–22. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-98067-2_6-1.

- [36] Y. Li, Q. Shen, X. An, Y. Xie, X. Liu, and B. Lian, “Organomineral fertilizer application enhances *Perilla frutescens* nutritional quality and rhizosphere microbial community stability in karst mountain soils,” *Front. Microbiol.*, vol. 13, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1058067>.
- [37] B. E. Ayamba, R. C. Abaidoo, A. Opoku, and N. Ewusi-Mensah, “Mechanisms for nutrient interactions from organic amendments and mineral fertilizer inputs under cropping systems: a review,” *PeerJ*, vol. 11, p. e15135, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.15135>.
- [38] S. M. YAHAYA, A. A. MAHMUD, M. ABDULLAHI, and A. HARUNA, “Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review,” *Pedosphere*, vol. 33, no. 3, pp. 385–406, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>.
- [39] O. Bashir et al., “Soil Organic Matter and Its Impact on Soil Properties and Nutrient Status,” in *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 129–159. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_7.
- [40] A. MASULILI, A. SUYANTO, . S., . M., and . P., “Effect of pineapple skin Bokashi on improvement of soil properties and growth of shallot (*Allium ascalonicum* L.),” *Res. Crop.*, vol. VOLUME 24, no. ISSUE 2 (JUNE), Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-11161>.
- [41] W. Zhuang et al., “Synergistic application of biochar with organic fertilizer positively impacts the soil micro-food web in sandy loam soils,” *Eur. J. Soil Biol.*, vol. 123, p. 103680, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103680>.
- [42] S. J. Ding, X. F. Zhang, W. L. Yang, X. L. Xin, A. N. Zhu, and S. M. Huang, “Soil Nutrients and Aggregate Composition of Four Soils with Contrasting Textures in a Long-Term Experiment,” *Eurasian Soil Sci.*, vol. 54, no. 11, pp. 1746–1755, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1134/S1064229321110041>.
- [43] Z. Niu et al., “Effect of Long-Term Fertilization on Aggregate Size Distribution and Nutrient Accumulation in Aeolian Sandy Soil,” *Plants*, vol. 11, no. 7, p. 909, Mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/plants11070909>.
- [44] M. Ros, “Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 35, no. 3, pp. 463–469, Mar. 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00298-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00298-5).
- [45] K. Huang et al., “Rates of soil respiration components in response to inorganic and organic fertilizers in an intensively-managed Moso bamboo forest,” *Geoderma*, vol. 403, p. 115212, Dec. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115212>.

- [46] H. Luan et al., “Organic amendment increases soil respiration in a greenhouse vegetable production system through decreasing soil organic carbon recalcitrance and increasing carbon-degrading microbial activity,” *J. Soils Sediments*, vol. 20, no. 7, pp. 2877–2892, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02625-z>.
- [47] C. Zhang, Z. Zhao, F. Li, and J. Zhang, “Effects of Organic and Inorganic Fertilization on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activities,” *Agronomy*, vol. 12, no. 12, p. 3125, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12123125>.
- [48] N. K. Mukhtar, M. N. Azhar, T. H. S. T. A. Bakar, N. Md Zain, T. Abu Bakar, and N. Md Zain, “Assessing The Effects of Microorganisms (EM) and Bokashi on Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) Towards Plant Growth and Yield Performance,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1102, no. 1, p. 012055, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1102/1/012055>.
- [49] D. Kechasov, M. J. Verheul, M. Paponov, A. Panosyan, and I. A. Paponov, “Organic Waste-Based Fertilizer in Hydroponics Increases Tomato Fruit Size but Reduces Fruit Quality,” *Front. Plant Sci.*, vol. 12, Jun. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680030>.
- [50] M. H. G. Ribeiro, K. K. Barros, L. Florencio, W. R. M. Leite, and M. T. Kato, “Nutrient recovery from UASB effluent: impacts on *Capsicum annuum* growth, nutrient accumulation, and productivity,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06420-6>.
- [51] T. Stan, N. Munteanu, G.-C. Teliban, A. Cojocaru, and V. Stoleru, “Fertilization Management Improves the Yield and Capsaicinoid Content of Chili Peppers,” *Agriculture*, vol. 11, no. 2, p. 181, Feb. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11020181>.

Anais Fabiola Fagúndez Benaventa, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Anais Fagúndez es egresada de la carrera de Química en la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Culminó su formación profesional con el desarrollo de su trabajo especial de grado en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelos y Ambiente, LIBSA, unidad adscrita al Centro de Investigación y Extensión en Ambiente, Biología y Química, AMBIOQUIM. Su proyecto de investigación se enfocó en el estudio comparativo del efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y la productividad del cultivo de ají (*Capsicum annuum*), con el propósito de evaluar alternativas sostenibles para mejorar la calidad de los suelos agrícolas y optimizar la producción hortícola.

Anais Fagúndez is a graduate of the Chemistry program at the Experimental Faculty of Science and Technology at the University of Carabobo, Venezuela. She completed her professional training by carrying out her special degree project at the Laboratory of Biochemical, Soil

and Environmental Research (LIBSA), a unit attached to the Research and Extension Center for Environment, Biology, and Chemistry (AMBIOQUIM). Her research project focused on a comparative study of the effect of organic and inorganic fertilization on the growth and productivity of chili pepper (*Capsicum annuum*) crops, with the aim of evaluating sustainable alternatives to improve agricultural soil quality and optimize horticultural production.

Minerva Márquez, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Minerva Márquez es Química egresada de la Facultad Experimental de Ciencia y Tecnología, FACYT, de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Actualmente, cursa estudios doctorales en Química Tecnológica en FACYT-UC y realiza su investigación en el Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente, LIBSA. Su especialización abarca los parámetros microbiológicos de sustratos agrícolas elaborados con residuos orgánicos, con el objetivo de mejorar la calidad del suelo. Su trabajo promueve prácticas agrícolas sostenibles, reduciendo la dependencia de insumos químicos y fomentando la salud del suelo mediante el uso optimizado de residuos orgánicos.

Minerva Márquez holds a degree in Chemistry from the Faculty of Experimental Science and Technology, FACYT, at the University of Carabobo, Venezuela. She is currently pursuing a PhD in Technological Chemistry at FACYT-UC, conducting research at the Biochemical Research Laboratory, Soil, and Environment, LIBSA. Her research focuses on microbiological parameters of agricultural substrates made from organic wastes to improve soil quality. Her work promotes sustainable agricultural practices, reducing chemical input reliance and enhancing soil health through optimized use of organic waste.

Henry Baloy Porras, Universidad Politécnica Territorial del Estado Mérida Kleber Ramírez, UPTMKR. Mérida, Venezuela.

Henry Baloy Porras es un científico y académico venezolano especializado en ciencia del suelo y agroecología. Se graduó en la Universidad de Los Andes, ULA, de Venezuela con un título en educación. Además de su labor como profesor en el Ministerio del Poder Popular para la Educación, ha compartido sus conocimientos sobre nutrición animal y alimentación en eventos académicos como las V Jornadas de rumiantes. Ha trabajado también con organizaciones como el Politécnico Santiago Mariño en Mérida, Venezuela, contribuyendo al avance de esfuerzos científicos y académicos. Su participación en discusiones científicas, como la organizada por Fundacite Yaracuy, donde habló sobre el uso de la investigación-acción en el ámbito agroecológico, resalta su compromiso con la investigación y la enseñanza agroecológica. Actualmente, sigue realizando investigaciones, con un enfoque en la salud del suelo y en métodos de agricultura sostenible.

Henry Baloy Porras is a Venezuelan scientist and academic specializing in soil science and agroecology. He graduated from the University of Los Andes (ULA) in Venezuela with a degree in education. In addition to his work as a professor at the Ministry of Popular Power for Education, he has shared his knowledge of animal nutrition and feeding at academic events such as the 5th Ruminant Conference. He has also worked with organizations such as the Santiago Mariño Polytechnic Institute in Mérida, Venezuela, contributing to the advancement of scientific and academic efforts. His participation in scientific discussions, such as the one organized by

Fundacite Yaracuy, where he spoke about the use of action research in the agroecological field, highlights his commitment to agroecological research and education. He is currently continuing his research, focusing on soil health and sustainable farming methods.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa, Universidad Estatal de Bolívar, Campus Académico “Alpachaca” Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira, Guaranda, Ecuador.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa es un destacado académico con una trayectoria en el ámbito educativo y de investigación. Es Máster Universitario en formación del profesorado de educación secundaria, con especialidad en Física y Química, por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, y cuenta con un Magíster en Gerencia Educativa y un Diploma Superior en Gestión y Planificación Educativa por la Universidad Estatal de Bolívar. Asimismo, obtuvo el título de Doctor en Ciencias de la Educación, especializado en Administración y Supervisión Educativa por la Universidad Cooperativa de Colombia del Ecuador. Como Licenciado en Ciencias de la Educación, especializado en Matemática y Física por la Universidad Central del Ecuador.

Carlos Humberto Aguas Changoluisa is a distinguished academic with a career in education and research. He holds a Master's Degree in Secondary Education Teacher Training, specializing in Physics and Chemistry, from the National University of Distance Education (UNED), as well as a Master's Degree in Educational Management and a Graduate Diploma in Educational Management and Planning from the State University of Bolívar. He also earned a Doctorate in Educational Sciences, specializing in Educational Administration and Supervision, from the Cooperative University of Colombia in Ecuador. In addition, he holds a Bachelor's Degree in Educational Sciences, specializing in Mathematics and Physics, from the Central University of Ecuador.

Arnaldo José Armado Matute, Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.

Arnaldo José Armado Matute es profesor e investigador de la Universidad de Carabobo, Venezuela. Se ha desempeñado como Director de Ambioquim, Coordinador del Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, Suelo y Ambiente (LIBSA), y Director Ejecutivo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC). Su línea de investigación se centra en la ecotoxicología, con énfasis en la evaluación del impacto de metales pesados sobre la calidad de suelos y aguas, así como en la diversidad bacteriana edáfica. Además, desarrolla estudios en la formulación de fertilizantes orgánicos, sustratos biofertilizantes y extractos naturales con propiedades insecticidas y repelentes. Ha colaborado en investigaciones relacionadas con la contaminación por metales y su influencia sobre parámetros bioquímicos y biológicos del suelo, aportando soluciones sostenibles para el manejo ambiental y la agricultura.

Arnaldo José Armado Matute is a professor and researcher at the University of Carabobo, Venezuela. He has served as Director of Ambioquim, Coordinator of the Biochemical, Soil and Environmental Research Laboratory (LIBSA), and Executive Director of the Council for Scientific and Humanistic Development (CDCHUC). His research focuses on ecotoxicology, with an emphasis on assessing the impact of heavy metals on soil and water quality, as well as on soil bacterial diversity. Additionally, he conducts studies on the formulation of organic fertilizers, biofertilizer substrates, and natural extracts with insecticidal and repellent properties.