

Efecto del bocashi sobre el contenido de proteína en maíz criollo cultivado en transición agroecológica bajo un sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales en Veracruz, México

Effect of bocashi on the protein content in native corn grown in agroecological transition under an Intercropped Milpa system with Fruit Trees in Veracruz, Mexico

Capetillo-Burela A¹, López-Collado C. J.¹, Zetina-Lezama R.^{2*}, Ortega-Jiménez E.¹, Palma-López D. J.³
López-Romero G.¹, Hernández-Pérez J. M.¹ Vidaña Reyes T. I.¹

-  Capetillo-Burela A
capetillo@colpos.mx
-  López Collado C. J.
ljorge@colpos.mx
-  Zetina-Lezama R.
zetina.rigoberto@inifap.gob.mx
-  Ortega-Jiménez E.
eortegaj@colpos.mx
-  Palma-López D. J.
dapalma@colpos.mx
-  López-Romero G.
gustavolr@colpos.mx
-  Hernández-Pérez J. M.
juan.hernandez@colpos.m
-  Vidaña-Reyes T. I.
vidana.tania@colpos.mx

*Autor de correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

¹ Colegio de Postgraduados Campus, Veracruz, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)/Campo Experimental Cotaxtla Veracruz, México.

³ Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, México.

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.11, núm.22, 2025

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 15 mayo 2025

Aprobado: 15 junio 2026

Publicado: 08 de Julio 2026

URL: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/1247>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v11i22.23075>

Copyright © 2025 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), Area de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias / Dirección Especifica de Agroecología y Agronegocios / Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0

Resumen

Antecedente: El maíz criollo es un cultivo fundamental en sistemas tradicionales como la milpa, destacando por su importancia productiva y nutricional. En este contexto, la transición agroecológica promueve el uso de insumos orgánicos como el bocashi para mejorar la fertilidad del suelo y la calidad del cultivo. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de bocashi sobre el rendimiento y el contenido de proteína en grano de maíz criollo, cultivado en un sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) en Axochio, Veracruz. **Metodología:** El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos: testigo sin fertilización, 100 % bocashi, 50 % bocashi + 50 % fertilización química, y 100 % bocashi + 100 % fertilización química. Se evaluó el rendimiento de grano ajustado al 14 % de humedad y el contenido de proteína mediante el método de Kjeldahl. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). **Resultados:** Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. El mayor rendimiento (6.95 t ha^{-1}) y contenido de proteína (8.0 %) se obtuvieron con la aplicación de 100 % bocashi. En contraste, el tratamiento combinado presentó los valores más bajos, evidenciando posibles efectos de inmovilización de nutrientes. **Conclusión:** El uso de bocashi como fertilizante orgánico mejora tanto la productividad como la calidad nutricional del maíz criollo en sistemas agroecológicos, representando una alternativa viable y sostenible para la agricultura en la región de Los Tuxtlas, Veracruz.

Palabras clave: Erosión, frutales, milpa, rendimiento, terraza.

Abstract

Background: Native maize is a fundamental crop in traditional systems like the milpa, standing out for its productive and nutritional importance. In this context, the agroecological transition promotes the use of organic inputs such as bokashi to improve soil fertility and crop quality. The objective of this research was to evaluate the effect of bokashi application on the yield and protein content of native maize grain cultivated in a Milpa Intercropped with Fruit Trees (MIAF) system in Axochio, Veracruz. **Methodology:** The experiment was established using a completely randomized block design with four treatments: control (no fertilization), 100 % bokashi, 50 % bokashi + 50 % chemical fertilization, and 100 % bokashi + 100 % chemical fertilization. Grain yield adjusted to 14 % moisture and protein content were evaluated using the Kjeldahl method. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). **Results:** The results showed significant differences between treatments. The highest yield (6.95 t ha^{-1}) and protein content (8.0 %) were obtained with the application of 100 % bokashi. In contrast, the combined treatment showed the lowest values, suggesting possible nutrient immobilization effects. **Conclusion:** The use of bokashi as an organic fertilizer improves both the productivity and nutritional quality of native maize in agroecological systems, representing a viable and sustainable alternative for agriculture in the Los Tuxtlas region of Veracruz.

Keywords: erosion, fruit trees, milpa, yield, terrace.

Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) constituye uno de los cultivos más importantes a nivel mundial y, particularmente, en México, donde forma parte esencial de sistemas agrícolas tradicionales como la milpa, reconocida por su relevancia productiva, cultural y nutricional (Altieri, 2004; Toledo y Barrera-Bassols, 2008). La milpa es un agroecosistema policultural que integra especies como maíz, frijol y calabaza, generando interacciones ecológicas positivas que favorecen la eficiencia en el uso de recursos, la resiliencia y la seguridad alimentaria. En este contexto, los sistemas agroforestales como la Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) representan una alternativa sustentable que combina cultivos anuales con especies perennes, mejorando la productividad y conservación de los recursos naturales (Cortés et al., 2012).

En este contexto, el sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF), es considerada una tecnología multiobjetivo que busca principalmente incrementar el ingreso neto y el empleo familiar, proteger el suelo contra la erosión hídrica, fomentar la interacción entre los cultivos, e incrementar la captura de carbono; además que muestra múltiples beneficios en aspectos biológicos, técnicos, socioeconómicos, destacando por ejemplo el aumento de la productividad, mejora de la fertilidad del suelo, conservación del suelo y el agua, regulación del microclima, biodiversidad, y sostenibilidad (Rojas Meza, 2019).

Asimismo, en sistemas de policultivo o intercultivo, como los asociados a la milpa, se ha observado un incremento en la producción de proteína, debido a la complementariedad entre especies y al mejor aprovechamiento de nutrientes. Por ejemplo, la asociación de maíz con leguminosas puede mejorar el contenido proteico del sistema al favorecer la fijación biológica de nitrógeno y su disponibilidad para el cultivo principal; las cuales, estas interacciones resultan clave en sistemas agroecológicos donde el objetivo no solo es maximizar el rendimiento, sino también mejorar la calidad nutricional de los alimentos (Lithourgidis et al., 2011; Bedoussac et al., 2015).

En los últimos años, la transición agroecológica ha cobrado importancia como estrategia para reducir la dependencia de insumos químicos, promoviendo el uso de abonos orgánicos como el bocashi. Este abono fermentado, elaborado a partir de materiales orgánicos, microorganismos y minerales, contribuye a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo vegetal (Restrepo y Pinheiro, 2004). Diversos estudios han demostrado que la incorporación de enmiendas orgánicas puede incrementar la biomasa, el rendimiento y la calidad nutricional de los cultivos, al estimular procesos biológicos asociados al ciclo del nitrógeno y la fertilidad del suelo (Agegnehu et al., 2016).

El bocashi, es un abono orgánico fermentado de origen japonés, que en los últimos años ha emergido como una tecnología promisoría para mejorar la fertilidad del suelo en sistemas tropicales. Elaborado a partir de insumos locales como estiércol, carbón vegetal, ceniza, levadura y melaza, este biofertilizante no solo aporta nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio), sino que también incrementa la actividad microbiana y la materia orgánica del suelo, mejorando su estructura y capacidad de retención de agua (Romero-Méndez et al., 2022). Su aplicación en maíz criollo se ha asociado con aumentos significativos en el rendimiento, además de favorecer la resiliencia del cultivo ante estrés hídrico y la reducción de costos de producción. En este sentido, aunque existen estudios sobre el uso de abonos orgánicos en maíz, la información específica sobre la eficacia del bocashi en condiciones edafoclimáticas de Los Tuxtlas es aún limitada. Además, se requiere evidencia científica que cuantifique su impacto no solo en parámetros agronómicos, sino también en la conservación de la agrobiodiversidad y la viabilidad económica para pequeños productores (Ávila Franco et al., 2021).

En este contexto, el uso de bocashi en sistemas MIAF con maíz criollo representa una práctica promisoría para incrementar la fertilidad del suelo y mejorar la calidad del grano; sin embargo, es necesario generar evidencia científica que permita cuantificar su efecto bajo diferentes dosis de aplicación. Por ello, la presente investigación tuvo el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de bocashi, en un sistema en transición agroecológica, sobre el rendimiento del maíz criollo (*Zea mays L.*) y el contenido de proteína en grano como indicador de calidad nutricional, cultivado en las terrazas del módulo Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) ubicado en la localidad de Axichio, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México.

Materiales y métodos

Área de estudio. La siembra del experimento se llevó a cabo en el área de cultivo de las terrazas del Módulo MIAF ubicado en la localidad de Axochío, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, México a una altitud de 60 m, (18° 20' 0.5", 95° 17' 57.7"). La región de Los Tuxtlas se caracteriza por poseer un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2) y la precipitación está entre las isoyetas 1500 a 2000 mm (García, 2004). El suelo donde se estableció el experimento presenta un pH de 5.7, conductividad eléctrica de 0.67 dS m⁻¹, textura franco limoso, 1.93 % de MO, y Carbono orgánico de 1.12 % respectivamente Capetillo-Burela et al. (2026) y Zetina-Lezama et al., 2023).

Siembra. Esta se realizó de forma manual con espeque a una distancia de 80 cm entre surcos y 25 cm entre planta, con lo cual se obtuvo una densidad de 50, 000 plantas por hectárea. La semilla fue tratada antes de la siembra con micorrizas producidas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en dosis de 1 kg para 20 kg de semilla. El maíz utilizado fue el criollo crema, el cual fue proporcionado por un productor cooperante de la localidad de Coyoltepec, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Elaboración del bocashi.

El abono orgánico utilizado (bocashi) en el experimento, fue elaborado en el Colegio de Postgraduados Campus, Veracruz con insumos como carbón vegetal, salvado de trigo, melaza, tierra de monte, levadura, ceniza de madera, paja de pasto pangola y agua de pozo; el cual fue volteado diariamente durante 30 días para su posterior cribado en malla de metal de 4.75 mm. El análisis nutrimental del bocashi fue realizado por la empresa FERTILAP en mayo del 2025, y de acuerdo con los resultados obtenidos, se definieron los tratamientos aplicados al experimento; los cuales estuvieron en función de la dosis que utiliza el INIFAP de 161-46-46 unidades de N-P-K (Capetillo et al., 2021).

Aplicación de los tratamientos.

Los tratamientos del bocashi fueron aplicados en base seca a los 15 días después de la siembra (Tabla 1), fecha en la cual la planta del maíz criollo crema tenía una altura de 15 cm; el cual fue depositado en la base de la planta de forma manual en una sola aplicación.

Tabla 1. Detalle de los tratamientos aplicados en el experimento del maíz criollo crema con manejo en transición agroecológica en el módulo MIAF de Axochio, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

Tratamientos		Dosis transición Agroecológica
1	0.00 % de dosis (testigo sin fertilizar)	
2	100 % dosis orgánica (13.4 t de bocashi)	
3	50 % dosis orgánica + 50 % dosis química (6.7 t de bocashi + 80.5 – 23 – 23 unidades de N-P-K) *	
4	100 % dosis orgánica + 100 % dosis química (13.4 t de bocashi + 161 - 46 - 46 unidades de N-P-K) **	

(Capetillo Burela, 2026)

Manejo del cultivo.

A partir de la siembra y hasta la etapa de grano lechoso, se realizaron cinco controles de malezas (dosis de 2 l/ha⁻¹ cuyos ingredientes activos son: aceite de conífera (40%); extracto de datura stramonium (10%); extracto de plantas alelopáticas (42%), y aceite de coco no hidrogenado (6%); así como otra aplicación de herbicida en dosis de 3 l/ha⁻¹ el cual tiene como ingrediente activo el gordolobo (20%); aceite de coco (20%); resina de pino (20%); hongo puccina (20%) y papaína (20%), y tres controles con machete y azadón). Respeto a la fertilización, además del bocashi, también se realizaron dos aplicaciones de biol artesanal (35 y 55 días después de la siembra) en dosis de 4 mL por litro de agua vía forma foliar; así como una aplicación a los 60 dds del fertilizante foliar microorganismos de montaña (producto artesanal) en dosis de 5 mL por litro de agua, y finalmente una aplicación de caldo de ceniza en dosis de 5 mL por litro de agua de forma foliar al follaje. El control de plagas como gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y otros trozadores, se realizó con la aplicación preventiva del spinetoram en dosis de 100 mL por hectárea aplicado a los 35 dds; así como el establecimiento de trampas con feromonas masculinas para el control del cogollero (5 trampas por hectárea); en las cuales, las feromonas fueron sustituidas a los 40 días después de su establecimiento. Para el control preventivo de enfermedades, se aplicó a los 45 dds de forma foliar caldo sulfocálcico en dosis de 7 litros por hectárea. A los 100 dds se realizó de forma manual la dobla de las plantas de maíz; la cual, es una práctica tradicional que contribuye a proteger la mazorca durante la etapa final del cultivo; ya que, al orientar la espiga hacia abajo, se evita la acumulación de agua de lluvia, lo que reduce la incidencia de pudriciones y favorece un secado más uniforme del grano en campo. Esta acción también limita el acceso de aves y algunas plagas, ayudando a conservar la sanidad y calidad de la cosecha. Además, al no requerir insumos externos, representa una alternativa sencilla y de bajo costo, particularmente útil en sistemas de producción campesinos y en regiones húmedas. La cosecha se realizó de forma manual, cosechando cinco plantas por tratamiento y repetición; lascuales a cada una se les determinó el peso seco, así como el porcentaje de humedad al grano al momento de la cosecha para su posterior análisis correspondiente.

Rendimiento.

Este se realizó a los 127 días después de la siembra (dds), cosechando 20 plantas por tratamiento; a las cuales, se les determinó el rendimiento del grano ajustado al 14% de humedad. Cada una de las plantas cosechadas fueron pesadas en una báscula digital graduada y secadas en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante. La humedad del grano fue determinada con un determinador de humedad de grano portátil Moisture Check Plus SW08120, en el cual se tomaron datos de tres lecturas por tratamiento y repetición para maíz de grano en alta humedad.

Determinación de proteína por el método de Kjeldahl.

El contenido de proteína en muestras de maíz criollo fue determinado mediante el método de Kjeldahl, el cual cuantifica el nitrógeno total y permite estimar el contenido proteico a partir de un factor de conversión. Este método es ampliamente utilizado en el análisis de alimentos por su precisión y reproducibilidad (AOAC, 2019; Nielsen, 2017).

Preparación de la muestra

Las muestras de maíz se secaron en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante, posteriormente se molieron en un molino eléctrico (modelo 80350G) y se tamizaron con un tamiz No. 10 para obtener una harina homogénea. Se pesó 1.0 g de muestra, el cual se envolvió en papel filtro y se colocó en tubos de digestión Kjeldahl con perlas de vidrio para favorecer una ebullición uniforme. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. A cada tubo se añadieron 6 g de catalizador (sulfato de potasio y sulfato de cobre pentahidratado en proporción 9:1), triturando previamente el sulfato de cobre para homogenizar el tamaño de partícula y mejorar la mezcla. Finalmente, se agregaron 25 mL de ácido sulfúrico concentrado (98%) y se incluyeron tres tubos blancos sin muestra de maíz.

Digestión de las muestras.

La digestión de las muestras se realizó mediante un incremento gradual de temperatura: 150 °C durante la primera hora, 220 °C en la segunda y 260 °C en la tercera; posteriormente, se aumentó progresivamente a 300 °C y 360 °C cada 30 minutos, y luego a 400 °C, alcanzando hasta 440 °C cuando no se observaba el cambio de color esperado. La digestión se consideró completa al obtener una solución clara con coloración verde jade, indicativa de la conversión del nitrógeno orgánico a sulfato de amonio. Posteriormente, los tubos Kjeldahl permanecieron 15 minutos adicionales a esa temperatura antes de retirarse para la etapa de destilación y titulación (Kjeldahl, 1883; Nielsen, 2017).

Destilación.

Tras finalizar la digestión y una vez frías las muestras, se adicionaron 25 mL de agua destilada a cada tubo y se calentaron a 250 °C hasta lograr su completa licuefacción. Posteriormente, en campana de extracción, se agregaron gradualmente 50 mL de NaOH al 40% para alcalinizar el medio, observándose un cambio de color de verde jade a negro, lo que permitió la liberación de amoníaco, posteriormente destilado y capturado en una solución de ácido bórico al 4% con indicador mixto (AOAC, 2019). Para ello, se preparó un matraz de 250 mL con 50 mL de ácido bórico al 4% y 5 gotas de indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol), manteniendo la destilación durante aproximadamente 25 minutos hasta obtener una coloración verde jade, indicativa de la captura del amoníaco. El procedimiento se realizó en todas las muestras y repeticiones, incluyendo un ciclo de limpieza con agua entre cada muestra para evitar contaminación cruzada y garantizar la confiabilidad de los resultados.

Titulación.

Las muestras destiladas se titularon con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N empleando una bureta de 50 mL hasta observar el cambio de color del indicador. Para el cálculo del contenido de nitrógeno se utilizó una normalidad real de HCl de 0.1126 y se registró el volumen de ácido consumido en cada muestra.

Cálculo del contenido de nitrógeno y proteína.

El porcentaje de nitrógeno (%N) se calculó considerando el volumen de ácido gastado, su normalidad y el peso de la muestra. Posteriormente, el contenido de proteína se estimó multiplicando el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25, comúnmente utilizado para cereales (Nielsen, 2017).

Control de calidad.

Los análisis se realizaron por triplicado, incluyendo blancos para corregir posibles errores sistemáticos. Se siguieron los lineamientos establecidos por la AOAC para asegurar la confiabilidad de los resultados (AOAC, 2019).

Análisis estadístico.

Los resultados de las variables antes mencionadas fueron analizados con el paquete estadístico de InfoStat (2022); a los cuales, se le realizaron análisis de varianza (ANOVA), así como pruebas de comparación de medias con el fin de identificar cuáles grupos tienen diferencias significativas en sus medias después de realizar un análisis de varianza, con el fin de identificar las diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$) (Tukey, 1949).

Resultados y discusión

La determinación del rendimiento de grano en maíz criollo fertilizado con distintas dosis de bocashi es fundamental para evaluar la respuesta productiva del cultivo bajo condiciones locales de manejo orgánico. Este enfoque permite identificar la dosis más eficiente para maximizar la producción sin comprometer la sostenibilidad del suelo. En este sentido, en la [Tabla 2](#) presenta el análisis de varianza de los tratamientos evaluados, en el cual se detectaron diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$), identificando al Tratamiento 4 que destacó con el mayor rendimiento (6.95 t ha⁻¹, ajustado al 14 % de humedad), seguido de los Tratamientos 2 y 3, con 5.45 y 5.11 t ha⁻¹, respectivamente. En contraste, el Tratamiento 1 registró el menor rendimiento (2.47 t ha⁻¹), correspondiente al Tratamiento 1 que no recibió ningún tipo de fertilización ([Tabla 3](#)). Este comportamiento sugiere que una fracción importante del bocashi pudo haber sido aprovechada por los microorganismos del suelo durante el proceso de mineralización, reduciendo temporalmente la disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

Tabla 2. Cuadrado medio y significancia detectada en el rendimiento de grano (RG) y contenido de proteína del maíz criollo crema con manejo en transición agroecológica establecido en al área de cultivo de las terrazas del módulo MIAF ubicado en Axochio, San Andrés

Fuente de variación	GL	RG (t ha ⁻¹)	% de proteína
Tratamiento	3	10.44 *	3.21 *
Bloques	2	0.76	0.03
Error	6	0.53	0.61
Total	11		
CV (%)		14.61	11.90

Fuente: Ángel Capetillo Burela, marzo 2026

Nota: GL = Grados de Libertad; RG= Rendimiento del grano ajustado al 14% de humedad; CV=Coeficiente de variación; ns=No significativo; *= indica significancia estadística ($p < 0.05$)

Tabla 3. Comparación de medias para la variable rendimiento de maíz sometido con fertilización orgánica y mixta. Tuxtla, Veracruz

Tratamiento	Medias	n	E. E	Grupo
1	2.47	3	0.42	A
3	5.11	3	0.42	B
2	5.45	3	0.42	B
4	6.95	3	0.42	B

Nota. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS (Diferencia Mínima Significativa) = 2.0625; Error medio cuadrático = 0.5325; grados de libertad (gl) = 6; E.E. = Error Estándar del tratamiento.

La respuesta diferencial en el rendimiento de grano (RG) del maíz criollo observada entre tratamientos evaluados, evidencia la importancia del manejo de la fertilización orgánica en sistemas en transición agroecológica; por lo que el mayor rendimiento registrado en el Tratamiento 4 (6.95 t ha⁻¹) sugiere que una dosis adecuada de bocashi puede satisfacer de manera eficiente los requerimientos nutricionales del cultivo, favoreciendo procesos edáficos clave como la mineralización gradual de nutrientes, el incremento de la materia orgánica y la actividad microbiana del suelo. Estos resultados coinciden con lo reportado por [Agegnehu et al. \(2016\)](#), quienes señalan que los abonos orgánicos estabilizados, como el bocashi, mejoran la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, incrementando significativamente el rendimiento de cultivos básicos en sistemas de bajos insumos.

Asimismo, el desempeño intermedio de los Tratamientos 2 y 5 sugiere que, aunque el bocashi aporta beneficios sustanciales, la respuesta del cultivo depende de factores como la dosis aplicada, la sincronización en la liberación de nutrientes y las condiciones edafoclimáticas. En este sentido, estudios recientes han demostrado que los abonos orgánicos presentan una liberación más lenta de nutrientes en comparación con los fertilizantes sintéticos, lo que puede limitar la disponibilidad inmediata durante etapas críticas del crecimiento del maíz ([Zhang et al., 2022](#); [Liu et al., 2023](#)). Sin embargo, esta característica también contribuye a una mayor eficiencia en el uso de nutrientes a mediano plazo y a la sostenibilidad del sistema productivo.

Por otro lado, el menor rendimiento observado en el Tratamiento 1 (2.47 t ha⁻¹), el cual no recibió ningún tipo de fertilización, puede atribuirse a que el cultivo dependió principalmente de las reservas naturales de nutrientes presentes en el suelo del área experimental. Asimismo, es posible que la actividad microbiana asociada a la materia orgánica existente en el suelo haya favorecido en cierta medida, los procesos de mineralización y disponibilidad de nutrientes, contribuyendo al desarrollo del cultivo, aunque de manera insuficiente para alcanzar los rendimientos obtenidos en los tratamientos fertilizados. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en sistemas agrícolas en transición, donde los microorganismos del suelo compiten con las plantas por nutrientes disponibles durante el proceso de descomposición ([Liu et al., 2016](#)). Además, la interacción entre fuentes orgánicas y químicas no siempre resulta sinérgica, ya que puede generar desbalances nutricionales o afectar la dinámica del carbono y nitrógeno en el suelo ([Chen et al., 2021](#)).

En sistemas agroecológicos, como el evaluado en esta investigación, el uso de bocashi no solo influye en el rendimiento inmediato, sino también en la calidad del suelo a largo plazo. Investigaciones recientes destacan que la aplicación continua de abonos orgánicos mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la biodiversidad microbiana, factores que son determinantes para la resiliencia del sistema agrícola frente a condiciones adversas ([Lal, 2020](#); [FAO, 2021](#)). En este contexto, aunque la combinación de fertilización orgánica y química puede parecer una estrategia intermedia, los resultados obtenidos sugieren que una adecuada dosificación exclusivamente orgánica podría ser más eficiente en etapas avanzadas de la transición agroecológica. En conjunto, los resultados confirman que el manejo adecuado del bocashi es un factor clave para optimizar el rendimiento del maíz criollo, destacando la necesidad de ajustar las dosis y tiempos de aplicación para sincronizar la liberación de nutrientes con la demanda del cultivo; lo cual, esto es consistente con el enfoque agroecológico, que busca maximizar la eficiencia biológica del sistema, reducir la dependencia de insumos externos y promover la sostenibilidad productiva.

Por otro lado, la determinación del contenido de proteína en maíz criollo fertilizado con el uso del abono bocashi, es fundamental para evaluar la calidad nutricional del grano en sistemas en transición agroecológica; el cual, este indicador permite identificar cómo la fertilización orgánica influye en la asimilación de nitrógeno, como elemento clave en la síntesis de proteínas; además, el uso de bocashi favorece la actividad microbiana del suelo, lo que puede mejorar la disponibilidad gradual de nutrientes y a la vez contribuyendo a comparar la eficiencia de prácticas orgánicas frente a sistemas convencionales.

En este sentido, en la Tabla 2 se presenta el análisis de varianza que evidencia diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cuanto al contenido de proteína del grano de maíz criollo ($p = 0.0409$); lo cual indica, que las distintas dosis de bocashi influyeron de manera significativa en la calidad nutricional del cultivo. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.73$) sugiere que el modelo explica una proporción considerable de la variabilidad observada, mientras que el R^2 ajustado (0.50) refleja la influencia de factores adicionales propios de sistemas agroecológicos, como la actividad microbiana, la dinámica del nitrógeno y las condiciones edafoclimáticas.

Respecto a la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) mostró que el Tratamiento 2 alcanzó el mayor contenido de proteína (8.00 %), diferenciándose significativamente del resto. Por su parte, el Tratamiento 3 presentó el valor más bajo (5.63 %), mientras que los Tratamientos 1 (6.03 %) y 4 (6.63 %) mostraron valores intermedios sin diferencias estadísticas entre sí (Tabla 4); lo cual, estos resultados sugieren que la aplicación adecuada de bocashi favorece la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, elemento esencial en la síntesis de aminoácidos y proteínas en el grano.

Tabla 4. Comparación de medias para la variable proteína de maíz sometido con fertilización orgánica y mixta.

Tratamiento	Medias	n	E. E	Grupo	
3	5.63	3	0.45	A	
1	6.03	3	0.45	A	B
4	6.63	3	0.45	A	B
2	8.00	3	0.45	–	B

Nota. Medias con una letra común en la misma columna no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$). DMS (Diferencia Mínima Significativa) = 2.0625; Error medio cuadrático = 0.5325; grados de libertad (gl) = 6; E.E. = Error Estándar del tratamiento.

Por otro lado, diversos estudios han demostrado que la fertilización orgánica incrementa el contenido de proteína en cultivos al mejorar la mineralización del nitrógeno y su disponibilidad gradual. En este sentido, [Jiang et al. \(2024\)](#) reportaron que prácticas de fertilización orgánica incrementan significativamente tanto el rendimiento como la calidad del maíz, debido a mejoras en la fertilidad del suelo y en la eficiencia del uso de nutrientes. Asimismo, la mayor concentración de proteína observada en el tratamiento con mayor eficiencia del bocashi coincide con lo reportado por [Xing et al. \(2024\)](#), quienes encontraron que la aplicación adecuada de abonos orgánicos mejora el contenido de nitrógeno disponible y promueve una mayor acumulación de proteína en el grano.

Por otro lado, el bajo contenido de proteína en el tratamiento 3 (mezcla de abono orgánico y fertilizante químico) puede explicarse por procesos de inmovilización microbiana del nitrógeno; ya que durante la descomposición del bocashi, los microorganismos del suelo utilizan el nitrógeno disponible para su crecimiento, reduciendo temporalmente su disponibilidad para las plantas. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado por [Liu et al. \(2016\)](#), quienes demostraron que existe una fuerte competencia entre plantas y microorganismos por el nitrógeno en sistemas con incorporación de materia orgánica.

De manera similar, estudios más recientes han señalado que la combinación de nutrición orgánica y química no siempre genera efectos sinérgicos, ya que puede alterar la dinámica del nitrógeno en el suelo. [Ejigu et al. \(2021\)](#) encontraron que, aunque la fertilización integrada puede mejorar el rendimiento, su efecto sobre la calidad del cultivo depende del equilibrio entre la mineralización e inmovilización de nutrientes. Además, [Tang et al. \(2025\)](#) reportaron que los abonos orgánicos como el bocashi estimulan la actividad microbiana del suelo, mejoran la estructura edáfica y aumentan la disponibilidad de nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo, lo que se traduce en una mejora significativa tanto del rendimiento como del contenido de proteína en maíz.

Otro aspecto relevante de los abonos orgánicos como el bocashi es la lenta liberación de nutrientes, a diferencia de los fertilizantes químicos, que liberan nutrientes de forma inmediata; ya que el bocashi proporciona nitrógeno de manera progresiva, lo que favorece una absorción más eficiente y sostenida por parte del cultivo. Esto ha sido documentado por [Asif et al. \(2024\)](#), quien encontró incrementos significativos en el contenido de proteína en maíz bajo fertilización orgánica debido a una mejor sincronización entre la oferta y la demanda de nutrientes. En el contexto de la transición agroecológica, estos resultados adquieren especial relevancia, ya que evidencian que el uso adecuado de insumos orgánicos no solo mejora la productividad, sino también la calidad nutricional del grano, coincidiendo con el enfoque agroecológico, que promueve sistemas agrícolas sostenibles basados en procesos biológicos, reducción de insumos externos y mejora de la salud del suelo.

Conclusiones

La aplicación de bocashi influyó significativamente en el rendimiento del maíz criollo destacando la dosis orgánica al 100 %, la cual alcanzó el mayor rendimiento (8.0 t ha⁻¹), evidenciando su efectividad como alternativa en sistemas en transición agroecológica.

El contenido de proteína en grano fue afectado por los tratamientos, siendo nuevamente la aplicación total de bocashi la que presentó el mayor porcentaje (8.0 %), lo que indica una mejor disponibilidad de nitrógeno y mayor calidad nutricional del cultivo.

La combinación de fertilización orgánica y química no mostró efectos sinérgicos, ya que presentó los valores más bajos de rendimiento y proteína, lo cual sugiere procesos de inmovilización de nutrientes y desbalance en la dinámica del nitrógeno en el suelo.

Agradecimientos

Se agradece al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, así como al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)/Campo Experimental Cotaxtla por el apoyo económico y en especie proporcionado por ambas instituciones para el desarrollo de la investigación. Asimismo, a los integrantes del consejo particular por el apoyo proporcionado para el desarrollo de esta investigación. También al Sr. Luis Nieto Castillo, Técnico del INIFAP por el apoyo en campo, a los técnicos M. C. Luz del Carmen Rivera Vázquez, M. C. Tania Isabel Vidaña Reyes y Angel Fernando Capetillo Hernández, por su apoyo en las actividades de campo.

Declaraciones

Fondos: Este estudio fue financiado.

Conflicto de intereses: No revelaron conflictos de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

Contribuciones de Autores: Todos los autores participaron en: Conceptualización, metodología, redacción, análisis de datos, redacción de Borrador Original, redacción, revisión y Edición.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable

Referencias bibliográficas

- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543(Pt A), 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Altieri, M. A. (2004). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2nd ed.). Westview Press.
- AOAC International. (2019). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>
- Asif, M., Rehman, B., Javaid, M. M., Aziz, A., Akhtar, N., & Safdar, E. (2024). Integrated use of organic and synthetic fertilizers improves soil functioning, growth, yield and quality attributes of maize. *International Journal of Applied and Experimental Biology*, 3(2), 199–206. <https://doi.org/10.56612/ijaaeb.v1i1.83>
- Ávila Franco, A., Vargas Guillén, P. I., & Mora Briones, N. A. (2021). Influencia del bocashi como complemento de la fertilización nitrogenada en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *SATHIRI*, 16(1), 135–146. <https://doi.org/10.32645/13906925.1047>
- Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., & Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal–grain legume intercroops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 911–935. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>
- Capetillo-Burela, A., López-Collado, C. J., Zetina-Lezama, R., Palma-López, D. J., Ortega-Jimenez, & López-Romero, G. (2026). Análisis Físicoquímico del Suelo a Diversas Profundidades en un Sistema MIAF en Veracruz, México. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-9. Artículo e2386. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2386>
- Capetillo-Burela, A., C. J. López-Collado, R. Zetina-Lezama, R. Chávez, C. Matilde-Hernández, M. Cadena-Zapata y J. A. López-López. (2021). Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maíz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 7(14):1636-1650. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.12606>
- Cortés, J. I., Turrent, A., Díaz, R., Hernández, E., & Mendoza, A. (2012). Milpa intercalada con árboles frutales (MIAF): Una alternativa para la producción sostenible en laderas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(3), 327–339. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.06.038>

- Ejigu, W., Selassie, Y. G., Elias, E., & Damte, M. (2021). Integrated fertilizer application improves soil properties and maize yield on Nitisols in Northwestern Ethiopia. *Heliyon*, 7(2), article e06074. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06074>
- Chen, H., Li, X., Hu, F., & Shi, W. (2021). Soil microbial responses to combined organic and inorganic fertilization. *Applied Soil Ecology*, 157, article 103763. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103763>
- FAO. (2021). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021: Systems at breaking point. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/1372>
- InfoStat. (2022). Análisis de varianza (ANOVA) en un diseño de bloques completamente al azar. Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de <https://www.infostat.com.ar>
- Jiang, M., Dong, C., Bian, W., Zhang, W., & Wang, Y. (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield and soil properties. *Scientific Reports*, 14, article 6480. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57031-z>
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern [New method for the determination of nitrogen in organic substances]. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, 22(1), 366–383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Lal, R. (2020). Soil organic matter and water retention. *Agronomy Journal*, 112(5), 3265–3277. <https://doi.org/10.1002/agj2.20282>
- Liu, X., Zhang, Y., Han, W., et al. (2023). Enhanced nutrient use efficiency with organic amendments in maize systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 341, article 108215. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108215>
- Liu, Q., Qiao, N., Xu, X., Xin, X., Han, J. Y., Tian, Y., & Kuzyakov, Y. (2016). Nitrogen acquisition by plants and microorganisms in a temperate grassland. *Scientific Reports*, 6, article 22642. <https://doi.org/10.1038/srep22642>
- Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. (2011). Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396–410. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>
- Romero-Méndez, M. J., López-Aguirre, S., Ramírez-Meléndez, J. E., García-Hernández, S. A., Contreras-Hernández, G., & De Gasparin-López, I. (2022). Caracterización de abono tipo bocashi elaborado con diferentes fuentes de estiércol y su efecto en la producción de maíz para ensilar. *Revista Bio Ciencias*, 9, Artículo e1368. <https://doi.org/10.15741/revbio.09.e1368>
- Nielsen, S. S. (2017). Food Analysis (5th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
- Restrepo, J., & Pinheiro, S. (2004). Agricultura orgánica y abonos orgánicos fermentados: Experiencias de América Latina. Fundación Juquira Candirú.
- Rojas Meza, J. (2019). Milpa intercalada con árboles frutales para la resiliencia al cambio climático, la sustentabilidad ambiental y la seguridad alimentaria en Nicaragua. *La Calera*, 19(32), 48–54. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i32.8440>