

Evaluación del uso de bocashi en la productividad y rentabilidad en el cultivo de café

Evaluation of the use of bocashi in productivity and profitability in coffee cultivation

Alicia García-Moreno¹ , Roberto Sánchez-Lucio² , José Luis Reyes-Carrillo^{3*} , José Luis García-Hernández⁴ , Urbano Nava-Camberos⁴ , Pedro Cano-Ríos³ 

¹Estudiante del Programa de Posgrado en Ciencias en Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna: Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe, S/N, Valle Verde, CP. 27059. Torreón, Coahuila, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Santiago: Carretera Internacional México – Nogales km 6, Centro, CP. 63300. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.

³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna: Periférico Raúl López Sánchez km 1.5 y Carretera a Santa Fe, S/N, Valle Verde, CP. 27059. Torreón, Coahuila, México.

⁴Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ): Carretera Gómez Palacio – Tlahualilo km 32, CP. 35170. Venecia, Durango, México.

*Autor de correspondencia: jlreyes54@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 9 de abril 2025

Aceptado: 29 de julio 2025

RESUMEN. La demanda de alimentos orgánicos aumenta a medida que los consumidores buscan alimentos que consideren más saludables y seguros, en consecuencia, diversas investigaciones se han realizado con diferentes alternativas de nutrición orgánica. El objetivo de esta investigación fue evaluar uso del bocashi en la productividad en el cultivo de café y determinar la rentabilidad de este abono cuando se aplica a diferentes dosis. El experimento se estableció en una plantación de cafetos criollos de tamaño estandarizado, bajo sombra regulada en terrenos con gran diversidad de árboles, follaje abundante, buen estado fitosanitario y edad de 25 años. Los tratamientos evaluados fueron tres dosis de bocashi (tres, seis y nueve kg árbol⁻¹), más un tratamiento sin abonar, dando un total de cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones y cuatro árboles por repetición. Los tratamientos se evaluaron bajo un diseño de bloques al azar. Los resultados mostraron diferencia significativa en el rendimiento a medida que se incrementó la dosis de bocashi, alcanzando una diferencia de hasta 0.47 t ha⁻¹ respecto al testigo cuando se aplicaron 9 kg árbol⁻¹. Así mismo, el largo y ancho del fruto mejoraron significativamente en cada tratamiento. El análisis económico arrojó que únicamente la dosis de 3 kg árbol⁻¹ es rentable cuando el precio del café es de al menos \$19.14 kg⁻¹. El uso del bocashi aumentó el rendimiento y crecimiento del fruto de café, pero la rentabilidad de su uso es afectada por el precio del fruto en cada ciclo productivo y las dosis del abono.

Palabras clave: Abono fermentado, *Coffea arabica*, rendimiento, producción orgánica.

ABSTRACT. The demand for organic foods is increasing as consumers seek foods they consider healthier and safer. Consequently, various investigations have been conducted using different organic nutrition alternatives. The objective of this research was to evaluate the use of bocashi on productivity in coffee cultivation and to determine the profitability of this fertilizer when applied at different doses. The experiment was established on a plantation of standardized-sized native coffee trees, under regulated shade on land with a high diversity of trees, abundant foliage, good phytosanitary conditions, and an age of 25 years. The treatments evaluated were three doses of bocashi (three, six, and nine kg tree⁻¹) plus an unfertilized control treatment, for a total of four treatments, with four replicates, each replicate on four trees. The treatments were evaluated using a randomized block design. The results showed significant differences in yield as the bocashi dose increased, reaching a difference of up to 0.47 t ha⁻¹ compared to the control when 9 kg tree⁻¹ was applied. In addition, the fruit length and width also improved significantly in each treatment. The economic analysis showed that only the 3 kg tree⁻¹ dose is profitable when the coffee price is at least \$19.14 per kg⁻¹. The use of bocashi increased the yield and growth of coffee berries, but its profitability is affected by the price of the berries in each production cycle and the fertilizer doses.

Keywords: Fermented fertilizer, *Coffea arabica*, yield, organic production.

Como citar: García-Moreno A, Sánchez-Lucio R, Reyes-Carrillo JL, García-Hernández JL, Nava-Camberos U, Cano-Ríos P (2025) Evaluación del uso de bocashi en la productividad y rentabilidad en el cultivo de café. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4572. DOI: 10.19136/era.a12n2.4572.

INTRODUCCIÓN

El café es la bebida estimulante no alcohólica más comercializada del mundo (Gómez-Martínez 2019). Los principales productores de café a nivel mundial son Brasil, Colombia y Vietnam (SADER 2018), en tanto que México ocupa la onceava posición (SADER 2022). En el contexto de producción orgánica, México es el principal productor y exportador de café a nivel mundial (SIAP 2024), y produce café de gran calidad, siendo el estado de Chiapas el principal productor, aportando el 41% del volumen nacional, seguido por Veracruz con 24% y Puebla con 15.3% (SADER 2022).

El creciente interés por los alimentos cultivados de forma orgánica está ganando relevancia, en los países desarrollados y los países en desarrollo (Eyinade *et al.* 2021). El mercado de productos orgánicos es el mercado de más rápido crecimiento en el mundo (Das *et al.* 2020), pero solo alrededor del 1% de la superficie agrícola a nivel mundial, está destinada a la agricultura orgánica (Abebe *et al.* 2022). La agricultura orgánica es un sistema de gestión de la producción ecológica que promueve y mejora la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo (Das *et al.* 2020). Para mantener la salud del suelo en estos sistemas, se prioriza el uso de fertilizantes orgánicos, que son fuentes renovables, de bajo costo y representan una alternativa viable a los fertilizantes sintéticos, estos fertilizantes pueden ser de origen vegetal o animal (Abebe *et al.* 2022).

Los abonos orgánicos son productos derivados de procesos de descomposición y mineralización de residuos de origen vegetal, animal o industrial, los cuales, al ser aplicados al suelo, contribuyen a mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Murillo-Montoya *et al.* 2020). El bocashi es un abono fermentado elaborado a partir de una mezcla equilibrada de materias orgánicas de origen vegetal y/o animal (Pegorer-de-Siqueira y De-Siqueira 2013). Los principales ingredientes utilizados en la elaboración del bocashi incluyen estiércol animal, carbón triturado, salvado, residuos de cosecha, cal, melaza, levadura, suelo tamizado y agua (Quiroz y Céspedes 2019). Este abono orgánico se caracteriza por su alto contenido de macro y micronutrientes, lo que contribuye de forma significativa a la nutrición y al desarrollo de las plantas (Mendivil-Lugo *et al.* 2020). Además, la aplicación de bocashi favorece la incorporación de microorganismos benéficos al suelo, los cuales participan en la fermentación de la biomasa y estimulan la multiplicación y la actividad de la microbiota nativa del suelo (Pegorer-de-Siqueira y De-Siqueira 2013, Quiroz y Céspedes 2019). Diversos estudios han documentado que el uso de bocashi mejora la germinación de semillas de rábano (Mendivil-Lugo *et al.* 2020), incrementa el rendimiento en lechuga (Hata *et al.* 2020), remolacha y repollo (Kruker *et al.* 2023), favorece las respuestas fisiológicas del orégano (Santos *et al.* 2020) y aumenta la altura y el rendimiento en berenjena (Amalia *et al.* 2020).

En el manejo orgánico del café se deben considerar tanto la fuente de nutrientes como la eficiencia de su uso por parte de las plantas. Uno de los obstáculos críticos para una nutrición adecuada es la alta demanda de nitrógeno (N), entre 2.5 y 20.0 t ha⁻¹ de materia seca, dependiendo de la fuente. Las dosis aplicadas son elevadas ya que los abonos orgánicos generalmente tienen baja concentración de N y en el caso del manejo convencional de café una fracción de aproximadamente el 31.2% del N aplicado como urea se pierde por volatilización en los cafetales (Martínez *et al.* 2024).

En el cultivo del café, la temperatura del aire es un factor determinante en la duración de los procesos fenológicos, como el tiempo que transcurre desde la siembra hasta la primera floración,

la primera cosecha, al máximo desarrollo foliar y la curva de desarrollo del fruto de café (Ramírez-Builes *et al.* 2013). La temperatura óptima para el desarrollo del cafeto se encuentra entre 18 y 21°C (Montoya y Jaramillo 2016). El crecimiento y desarrollo de los cultivos está relacionado con la cantidad de calor que acumulan por encima de su temperatura base, lo que se conoce como unidades calor; esto implica que una etapa fenológica determinada se alcanza cuando se acumula una cantidad específica de calor, independientemente del tiempo cronológico requerido (Hernández 1989). Las unidades calor se define como la diferencia entre la temperatura media del día y la temperatura base del cultivo, y su sumatoria a lo largo de un periodo representa las unidades calor acumuladas (Montoya y Jaramillo 2016).

Existe pocos estudios sobre el efecto del bocashi en la producción de café, además que en la mayoría de los casos se omite la evaluación de la rentabilidad, no solo en este insumo sino de otros abonos orgánicos. Es necesario conocer la respuesta que tienen diferentes dosis de bocashi sobre las variables de productividad del café y determinar cuál de ellas puede ser la opción rentable para implementar. Por lo tanto, las variables de productividad evaluadas en el cultivo de café se incrementarán a medida que se aumenten las dosis de bocashi. Además, la rentabilidad en el uso de este abono se verá afectada por el precio del fruto en cada ciclo productivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de bocashi y determinar su efecto en variables de productividad en el cultivo de café, además de evaluar la rentabilidad cuando se aplica a diferentes dosis.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la huerta Las Iguanas, Acatan de las Piñas, Municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit, México (20° 52' 08" LN, 104° 57' 59" LO), con una altitud 468 msnm. La precipitación anual promedio en el sitio experimental es de 1 430.6 mm y temperatura media anual de 31.7 °C. La huerta cuenta con una superficie de 3.4 ha con una densidad de plantación de 1 100 árboles ha⁻¹ de café orgánico en un sistema agroforestal.

Para el establecimiento del experimento se utilizó una plantación de cafetos criollos de la especie *arabica*, bajo sombra regulada en terrenos con gran diversidad de árboles, cafetos de tamaño estandarizado, follaje abundante, buen estado fitosanitario y edad de 25 años. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; cada tratamiento consistió en cuatro árboles y se consideró la pendiente como el factor de variación. Los tratamientos evaluados fueron tres dosis de bocashi (3, 6 y 9 kg árbol⁻¹), más un testigo sin abonar, dando un total de cuatro tratamientos.

La fecha de aplicación del abono fue el día 7 de junio de 2023, cinco días antes del inicio de la floración (12 de junio). El bocashi se aplicó en la base del tallo, en forma circular se realizó una pequeña zanja para evitar pérdidas del abono en caso de lluvia. La elaboración del bocashi se llevó a cabo de acuerdo con lo recomendado por el INIFAP (2023).

Variables evaluadas

Durante el desarrollo del experimento se evaluaron las siguientes variables: el ancho y largo del fruto (mm) se midió con un vernier marca TRUPER®, de septiembre a diciembre, los días 13 de

cada mes, para luego correlacionar el crecimiento con las unidades calor (UC) y determinar el rendimiento en kg ha⁻¹. En cosecha se determinó el rendimiento de café cereza (fruto con color), en tres diferentes fechas (18 de diciembre, 15 de enero y 12 de febrero), debido a que no todos los frutos maduran al mismo tiempo. En cada fecha de cosecha se pesaron los frutos en una báscula digital marca Aquila® modelo BA3100 con capacidad de 10 kilogramos. Para luego sumar el rendimiento en cada fecha y obtener el rendimiento total por cada árbol.

Unidades Calor

Las UC se calcularon por el método residual de acuerdo con Hernández (1989), de la siguiente manera:

$$UC = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}}{2} - T_{\text{base}}$$

Donde: UC = unidades calor, T_{máx} = temperatura máxima, T_{mín} = temperatura mínima y T_{base} = temperatura base.

Para la temperatura base se consideró 8 °C según reporta la literatura. Para el cálculo de las UC se utilizó una base datos de temperaturas correspondiente al periodo de estudio, proporcionada por el INIFAP campo experimental Santiago, ubicado en Santiago Ixcuintla Nayarit.

Análisis económico

El análisis económico se realizó de acuerdo con la metodología del CIMMYT conocida como presupuesto parcial (CIMMYT 1998), que consiste en analizar y comparar los conceptos de costos e ingresos que difieren entre los tratamientos, para ello se calcularon el ingreso marginal (Img) y el costo marginal (Cmg).

El Cmg se define como el incremento en el costo total atribuible al tratamiento alternativo (costo de aplicación de bocashi por hectárea considerando cada una de las dosis). Esto se refiere al incremento en el costo por hectárea al pasar del tratamiento testigo al de 3 kg ha⁻¹ de bocashi; luego del de 3 kg ha⁻¹ al de 6 kg ha⁻¹ y finalmente del de 6 kg ha⁻¹ al de 9 kg ha⁻¹. Conforme se incrementa la dosis el costo total se incrementa, y el término marginal se refiere al incremento en el costo de un tratamiento a otro. Mientras que el ingreso marginal (Img) se define como el ingreso adicional atribuible al tratamiento alternativo (ingreso obtenido del aumento de producción al aplicar bocashi). Esto es, que al incrementar la dosis del abono se incrementa la producción de café y con ello el ingreso total. El término "marginal" se refiere al incremento en el ingreso total de un tratamiento a otro. Por la Ley de los rendimientos decrecientes llega un momento en que ya no es costable incrementar el uso de insumos porque el costo es mayor que el ingreso.

Si el ingreso marginal es mayor que el costo marginal (Img > cmg) para un determinado tratamiento, entonces se acepta el cambio tecnológico o, en este caso, se podría concluir que el uso de bocashi es rentable. El Img se calcula de la siguiente manera:

$$Img = Pmg \times Pr$$

Donde: Img = Ingreso marginal \$ ha⁻¹, Pr = precio del producto \$ kg⁻¹ y Pmg = producto marginal (t ha⁻¹). El Pmg es la cantidad adicional de café comercial (t ha⁻¹) en que supera al tratamiento previo. Por ejemplo, cantidad de producción de café en que supera el tratamiento de 3 kg ha⁻¹ al testigo;

luego cantidad de café en que supera el tratamiento de 6 kg ha⁻¹ al de 3 kg ha⁻¹ y así sucesivamente. Para el análisis de viabilidad el Img se calculó bajo tres escenarios de precios de mercado del café: \$6.73 kg⁻¹, \$22 kg⁻¹ y \$25 kg⁻¹. Los valores de Pmg multiplicados por el precio del producto da como resultado el Img. Finalmente, los valores de Img se comparan con los de Cmg para la toma de decisiones. Si el ingreso marginal es mayor que el costo marginal (Img>Cmg) el tratamiento se acepta porque el ingreso que genera ese tratamiento es mayor que su costo.

Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de regresión múltiple para describir el crecimiento del fruto de café en función de la fecha de muestreo, expresada en UC acumuladas a partir del inicio de floración, y la dosis de bocashi aplicada (kg árbol⁻¹). El modelo empleado fue:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$$

Donde: y = variable dependiente, largo y ancho del fruto (mm), b_0 = intercepto, b_1 y b_2 = coeficientes de regresión, x_1 = variable independiente, UC, x_2 = variable independiente, dosis de bocashi (kg árbol⁻¹). Los criterios para determinar la existencia de una relación lineal significativa entre las variables predictoras y de respuesta fueron los valores de $P > F \leq 0.05$ (modelo completo), de $P > t \leq 0.05$ (cada variable independiente) y del coeficiente de determinación ($r^2 \geq 0.80$).

Previamente se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas en el programa SAS. Se encontró que los errores se comportan de forma normal, ya que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk arrojó un valor de $P = 0.1151$ para las variables largo y ancho y de $P = 0.2300$ para la variable rendimiento. Se utilizó la prueba de Bartlett para la homogeneidad de varianzas obteniéndose los siguientes valores: largo $P = 0.0334$, ancho $P = 0.0635$ y rendimiento $P = 0.0158$. Los datos de crecimiento de fruto (largo y ancho) y rendimiento fueron sometidos a análisis de varianza (PROC ANOVA). Las comparaciones de medias de tratamientos se realizaron con la prueba de DMS ($P = 0.05$). El paquete estadístico utilizado fue SAS versión 9.0 (SAS 2002).

RESULTADOS

Crecimiento del fruto

En la Tabla 1 se puede observar que a medida que se incrementa la dosis de bocashi hay un aumento en el largo del fruto. A mayor acumulación de UC mayor desarrollo del fruto. En el efecto de la interacción UC*dosis, se encontró que conforme aumenta la dosis de bocashi y las UC, se observa un mayor largo de fruto (tamaño). El mayor tamaño de fruto en cuanto a su longitud se obtuvo a las 3 040.6 UC y en las dosis de 6 y 9 kg árbol⁻¹ (18.92 y 19.06, respectivamente).

En la Tabla 2 se puede observar que conforme se incrementa la dosis de bocashi aumenta el ancho del fruto. También, a mayor acumulación de UC mayor desarrollo es el desarrollo del fruto. En el efecto de la interacción UC*dosis, se encontró que a medida que aumenta la dosis de bocashi y las UC, mayor es el ancho de fruto (tamaño). El mayor tamaño de fruto en cuanto al ancho se obtuvo a las 3 040.6 UC y en las dosis de 6 y 9 kg árbol⁻¹ (16.70 y 17.09, respectivamente).

Tabla 1. Largo del fruto de café en función de las UC y dosis de bocashi (mm).

UC	Dosis (kg)				Promedio
	0	3	6	9	
1694.4	13.17(0.05) ^r	15.21(0.07) ⁿ	16.46(0.17) ^{lk}	16.71(0.17) ^{jk}	15.39 ^g
1942.6	13.41(0.06) ^r	15.48(0.08) ^{nm}	16.86(0.17) ^{ji}	17.04(0.15) ^{hi}	15.70 ^f
2177.1	13.45(0.04) ^r	15.67(0.06) ^m	17.19(0.05) ^{hg}	17.38(0.15) ^{gf}	15.93 ^e
2400.5	13.84(0.11) ^q	16.31(0.05) ^l	17.44(0.07) ^{egf}	17.72(0.16) ^{ed}	16.33 ^d
2631.7	14.02(0.14) ^q	16.73 ^{ji} (0.06) ^k	17.76(0.08) ^d	18.27(0.07) ^{cb}	16.70 ^c
2916.0	14.36(0.19) ^p	17.57(0.09) ^{edf}	18.20(0.04) ^c	18.56(0.07) ^b	17.17 ^b
3040.6	14.75(0.21) ^o	18.23(0.05) ^c	18.92(0.03) ^a	19.06(0.04) ^a	17.75 ^a
Promedio	13.86 ^d	16.46 ^c	17.54 ^b	17.82 ^a	

Letras distintas entre filas y columnas, indican diferencia significativa (DMS, $P = 0.05$). Letras distintas entre promedios indican diferencia significativa (DMS, $P = 0.05$). Valores entre paréntesis indican errores estándar. UC = unidades calor.

Tabla 2. Ancho del fruto de café en función de las UC y dosis de bocashi (mm).

UC	Dosis (kg)				Promedio
	0	3	6	9	
1694.4	9.52(0.09) ^v	11.25(0.03) ^q	13.2(0.25) ⁿ	14.47(0.013) ^{kl}	12.12 ^g
1942.6	9.83 ^u (0.07) ^v	11.44(0.02) ^q	14.16(0.19) ^{ml}	14.80(0.16) ^{kj}	12.56 ^f
2177.1	10.06(0.08) ^{ut}	11.79(0.03) ^p	14.90(0.17) ^j	15.25(0.18) ^{ih}	13.00 ^e
2400.5	10.32(0.06) st	12.42(0.07) ^o	15.44(0.16) ^{gh}	15.65(0.06) ^{gf}	13.36 ^d
2631.7	10.55(0.07) ^{sr}	13.22(0.12) ⁿ	15.88(0.11) ^{ef}	16.16(0.07) ^{ed}	13.96 ^c
2916.0	10.81(0.09) ^r	13.88(0.14) ^m	16.28(0.11) ^{cd}	16.51(0.08) ^{cb}	14.37 ^b
3040.6	11.17(0.10) ^q	15.03(0.09) ^{ij}	16.70(0.07) ^b	17.09(0.15) ^a	15.00 ^a
Promedio	10.33 ^d	12.72 ^c	15.22 ^b	15.71 ^a	

Letras distintas entre filas y columnas, indican diferencia significativa (DMS, $P = 0.05$). Letras distintas entre promedios indican diferencia significativa (DMS, $P = 0.05$). Valores entre paréntesis indican errores estándar. UC = unidades calor.

Unidades Calor

En la presente investigación, la acumulación de UC comenzó al inicio de la floración (12 de junio de 2023), con un valor de 18.4 y se registró un total acumulado de 3 213.2 UC al inicio de la cosecha (18 de diciembre de 2023). Las Figuras 1 y 2 muestran la dinámica de crecimiento del fruto del café. Se puede observar que el largo y ancho del fruto se incrementan a medida que aumentan las UC y la dosis de bocashi aplicada.

La ecuación de regresión obtenida para predecir el largo de fruto (y) en función de la acumulación de UC (x_1) y la dosis de bocashi (x_2) fue: $y = 10.4873 + 0.00167x_1 + 0.4326x_2$, la cual muestra una relación altamente significativa entre las variables ($P < 0.0001$) y una capacidad predictiva alta, ya que el 85% de la variabilidad en la longitud del fruto puede ser explicada por las UC y dosis de bocashi ($r^2 = 0.85$). La ecuación de regresión obtenida para estimar el ancho de fruto (y) fue $y =$

$5.8026 + 0.0020x_1 + 0.6216x_2$, mostrando también una relación altamente significativa entre las variables ($P < 0.0001$) y una capacidad predictiva alta ($r^2 = 0.92$).

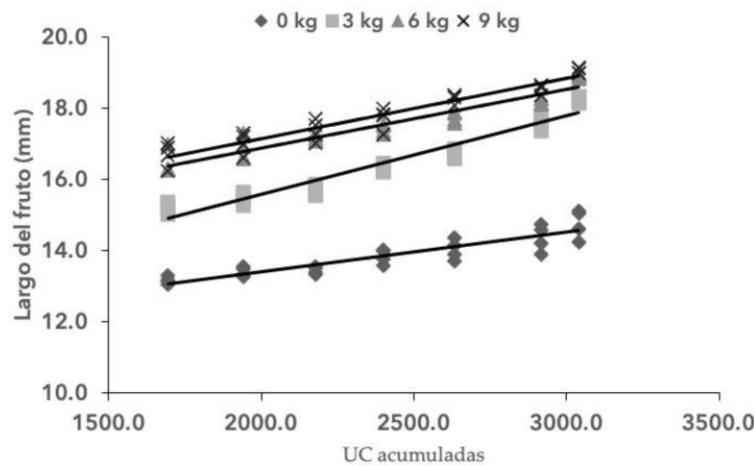


Figura 1. Relaciones entre la acumulación de UC y el largo del fruto en diferentes dosis de bocashi aplicadas en el cultivo de café.

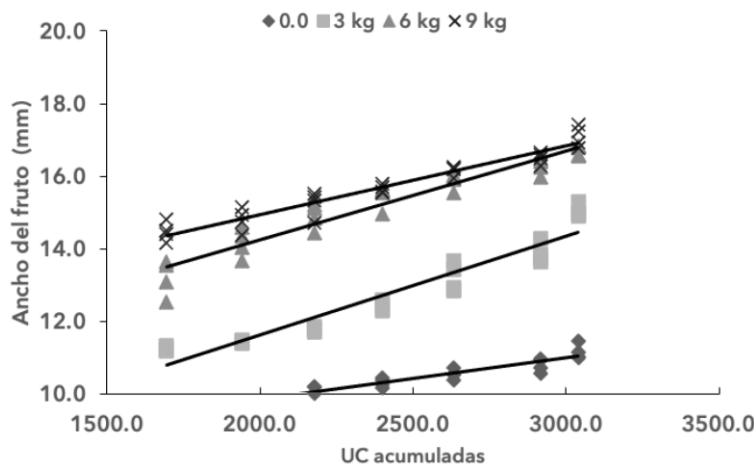


Figura 2. Relaciones entre la acumulación de UC y el ancho del fruto en diferentes dosis de bocashi aplicadas en el cultivo de café.

La ecuación de regresión obtenida para predecir el largo de fruto (y) en función de la acumulación de UC (x_1) y la dosis de bocashi (x_2) fue: $y = 10.4873 + 0.00167x_1 + 0.4326x_2$, la cual muestra una relación altamente significativa entre las variables ($P < 0.0001$) y una capacidad predictiva alta, ya que el 85% de la variabilidad en la longitud del fruto puede ser explicada por las UC y dosis de bocashi ($r^2 = 0.85$). La ecuación de regresión obtenida para estimar el ancho de fruto (y) fue: $y = 5.8026 + 0.0020x_1 + 0.6216x_2$, mostrando también una relación altamente significativa entre las variables ($P < 0.0001$) y una capacidad predictiva alta ($r^2 = 0.92$).

Rendimiento de café cereza

El análisis de varianza para la variable rendimiento ($t\ ha^{-1}$) detectó diferencias significativas entre los tratamientos estudiados. En la Figura 3 se puede observar que los árboles sin abonar

presentaron los rendimientos más bajos (0.90 t ha^{-1}), mientras que la dosis de 3 kg árbol^{-1} fue superior y diferente estadísticamente del tratamiento sin bocashi (1.25 t ha^{-1}). El tratamiento con la dosis de 9 kg árbol^{-1} fue el que obtuvo mayor rendimiento (1.37 t ha^{-1}), aunque no fue estadísticamente diferente del tratamiento con la dosis de 6 kg árbol^{-1} (1.35 t ha^{-1}).

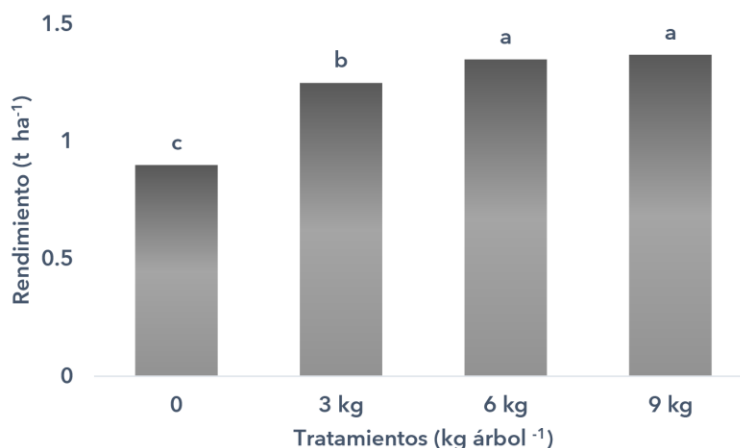


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de bocashi sobre el rendimiento del café. Letras diferentes indican diferencias significativas (DMS, $P > 0.05$)

Análisis económico

En la Tabla 3 se muestra el costo total por hectárea del uso del bocashi al utilizar tres, seis y nueve kilogramos árbol⁻¹. El Costo del bocashi por hectárea por tratamiento se basó en la dosis de bocashi por árbol, la densidad de árboles por hectárea y el costo unitario del bocashi que fue de $\$2.03 \text{ kg}^{-1}$. El incremento en costo total por el uso del bocashi se incrementó en $\$6\,699$ entre tratamientos. Este costo adicional al incrementar el uso del insumo de un tratamiento a otro se conoce como costo marginal. En este caso el costo marginal de tratamiento a tratamiento fue de $\$6\,699$ (Tabla 3).

Tabla 3. Costo marginal (Cmg) al utilizar tres, seis y nueve kilogramos de bocashi árbol en el cultivo de café

Dosis bocashi (kg árbol ⁻¹)	Densidad de plantación (ha ⁻¹)	Kg bocashi • ha ⁻¹	Costo (\$) del kg de bocashi	Costo (\$) marginal*ha ⁻¹
0	1 100	0	\$ -	\$ -
3	1 100	3 300	\$ 2.03	\$ 6 699
6	1 100	6 600	\$ 2.03	\$ 6 699
9	1 100	9 900	\$ 2.03	\$ 6 699

En la Tabla 4 se muestra el análisis de viabilidad económica donde se presentan las estimaciones de Cmg e Img para los diferentes tratamientos bajo tres diferentes niveles de precios de mercado del kilogramo de café cereza: $\$6.73$, $\$22.00$ y $\$25.00$.

Para el cálculo del Ingreso marginal se usaron tres niveles de precio del café y el producto marginal de cada tratamiento. Se utilizó el precio de café de $\$6.73$ por kilogramo que fue el precio promedio de café cereza en el 2023, el precio máximo histórico registrado en enero 2025 de $\$22$ pesos por kilogramo de café cereza y un precio de $\$25$ pesos para incluir un precio más en el análisis de sensibilidad. El Pmg del tratamiento 0 kg por árbol a 3 kg por árbol es de $1.25 - 0.9 = 0.35 \text{ ton ha}^{-1}$. El

Pmg del tratamiento 3 kg por árbol a 6 kg por árbol fue de $1.35 - 1.25 = 0.10 \text{ ton ha}^{-1}$, finalmente el Pmg del tratamiento 6 kg por árbol a 9 kg por árbol fue de $1.37 - 1.35 = 0.02 \text{ ton ha}^{-1}$.

Tabla 4. Análisis de viabilidad económica al utilizar diferentes tratamientos de bocashi en el cultivo del café bajo diferentes niveles de precios del café cereza.

Dosis de bocashi (kg árbol ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Ingreso marginal (Pmg x Precio)	Img (\$/ha)	Cmg (\$ ha ⁻¹)	Decisión
0	0.9	-	-	-	
3	1.25	$0.35 \times \$6.73$	2 355.5	6 699.00	Img<Cmg
6	1.35	$0.10 \times \$6.73$	673.0	6 699.00	Img<Cmg
9	1.37	$0.02 \times \$6.73$	134.6	6 699.00	Img<Cmg
0	0.9	-	-	-	
3	1.25	$0.35 \times \$22.00$	7700	6 699.00	Img>Cmg
6	1.35	$0.10 \times \$22.00$	2200	6 699.00	Img<Cmg
9	1.37	$0.02 \times \$22.00$	440	6 699.00	Img<Cmg
0	0.9	-	-	-	
3	1.25	$0.35 \times \$25.00$	8750	6 699.00	Img>Cmg
6	1.35	$0.10 \times \$25.00$	2500	6 699.00	Img<Cmg
9	1.37	$0.02 \times \$25.00$	500	6 699.00	Img<Cmg

Los resultados indicaron que cuando el precio del café es de \$6.73 por kilogramo ningún tratamiento es costeable, es decir, no conviene aplicar el fertilizante orgánico bocashi porque con el aumento de la producción no se paga el costo. En otras palabras, el ingreso marginal es menor que el costo marginal (Img<Cmg). Cuando los precios son de \$22 pesos por kilogramo y de \$25 pesos por kilogramo solo el tratamiento de 3 kg árbol⁻¹ es costeable ya que el ingreso marginal es mayor que el costo marginal. Para los tratamientos de 6 kg árbol⁻¹ y 9 kg árbol⁻¹ ni con precios de \$22 y de \$25 pesos por kilogramo son costeables ya que los incrementos en rendimientos son insuficientes para cubrir el costo del insumo.

Para saber a partir de cual precio era costeable producir con el tratamiento de bocashi de 3 kg árbol⁻¹. Esto es el precio que iguala el Img con el Cmg (Img=Cmg) o precio de equilibrio, el cual fue de \$19.14 por kilogramo. A partir de ese precio, con el tratamiento de 3 kg árbol⁻¹, es costeable usar bocashi. Por debajo de él no es costeable con ningún tratamiento.

DISCUSIÓN

Crecimiento del fruto (mm)

En una evaluación de diferentes estrategias de nutrición orgánica e inorgánica en el cultivo de café, con plantas de 2.5 años, se encontró hasta 17.36 mm de ancho y 18.03 mm de largo del fruto (Alvarez-Lino *et al.* 2023), en el presente estudio los resultados obtenidos fueron de 15.71 mm de ancho y 17.82 mm de largo. Dicho resultado puede estar influenciado por la edad de las plantas estudiadas (25 años), al respecto Pulgarín (2007), reporta que el ciclo de vida de los árboles de café en condiciones comerciales alcanza hasta 25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo, y su máxima productividad es entre los 6 y 8 años. Después de este tiempo las plantas

pueden seguir su actividad por muchos años, pero con niveles de productividad bajos. Al respecto, Muñoz-Rocha *et al.* (2025) al evaluar plantas de higueras tratadas con bocashi, encontraron un aumento en el diámetro de tallo y la biomasa seca de la planta cuando se abona con 10 kg de bocashi por árbol. La adición de bocashi al medio de cultivo puede mejorar la calidad de las plantas, así como las características agronómicas y fisiológicas y una mayor absorción de nutrientes y agua, la cual puede estar determinada por la presencia de bacterias beneficiosas en el bocashi (Prisa 2020).

En el cultivo de café, Gómez-Velasco *et al.* (2014) reportan que los tratamientos con aplicación de bocashi aumentaron el crecimiento de la planta, el peso fresco de los brotes aumentó hasta 10 veces cuando se aplicó de bocashi, además el uso de abono fermentado estimula el grosor de tallo y la concentración de nitrógeno, fósforo y calcio (Cruz *et al.* 2020).

Unidades calor

El cultivo de café necesita aproximadamente 2 500 UC acumulados entre la primera floración y la cosecha (Montoya y Jaramillo 2016). En la presente investigación se encontró que los frutos de café alcanzaron su madurez a los 190 días después de la floración con un acumulado de 3 213.2 UC, lo cual coincide con Alvarez-Lino *et al.* (2023) quienes reportaron que la madurez de los frutos se alcanzó a los 240 días con un total de 3 071.1 UC. La diferencia entre la cantidad de días de la floración a la cosecha se debe a que el cultivo alcanza determinada etapa fenológica cuando hay cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido, además que solo existe una temperatura basal durante toda la vida de la planta y responde a aumentos de la temperatura en una forma lineal (Hernández 1989). Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo citado anteriormente, ya que el crecimiento del fruto de café mostró una tendencia lineal a lo largo del tiempo y a medida que incrementaban las unidades calor. De acuerdo con las ecuaciones de regresión obtenidas el ajuste lineal para todos los tratamientos fue aceptable (González-González 2008) ya que el R^2 para el largo del fruto fue 0.86 y para el ancho fue de 0.92 (Figura 2 y 3).

Rendimiento

Se reporta que el uso de un abono líquido fermentado al 4% más inoculantes micorrizicos, influyó de forma positiva en el rendimiento del cultivo de café y superó al manejo convencional en 24.8 y 44.6% (Montes-Rojas y Anaya-Flórez 2019). También en evaluaciones de 20 variedades de café bajo manejo orgánico durante cuatro años con aplicaciones de composta y lombricomposta, se reportaron diferencias en el rendimiento entre las variedades (López-García *et al.* 2021). Lo que concuerda con las diferencias estadísticas favorables encontradas en el rendimiento cuando se utiliza bocashi a en contraste a las plantas sin tratar, alcanzando hasta una diferencia de 0.47 t ha⁻¹ con la dosis máxima de 9 kg árbol⁻¹. También en el cultivo de pimiento se compararon plantas sin tratar y con aplicación de bocashi, se lograron incrementos de hasta el 43% respecto al tratamiento sin tratar (Boudet-Antomarchi *et al.* 2015). Así mismo, en el cultivo de tomate abonado con bocashi se incrementaron los rendimientos hasta en un 30.5% comparado al tratamiento sin aplicación (Boudet-Antomarchi *et al.* 2017). En el presente estudio se obtuvieron incrementos de un 38.8, 50.0 y 52.2% cuando se utilizaron las dosis de 3, 6 y 9 kg de bocashi por árbol, respectivamente. También, en un estudio realizado en *Moringa oleifera* utilizando bocashi, se encontró, que el número total de frutos por planta se aumentó significativamente en un 75% más que el tratamiento sin tratar (Mota-Fernández *et al.* 2019). En el cultivo de higuera al utilizar una dosis de bocashi de 10 kg por árbol,

se encontró que aumentó el rendimiento hasta un 110% más que los árboles que no son tratados con dicho abono utilizando de 500 a 1 050 kg por árbol (Muñoz-Rocha *et al.* 2025).

Se han realizado diversos estudios en diferentes cultivos utilizando bocashi en combinación con fertilización química (López-Tolentino *et al.* 2023), así como también en combinación con biofertilizantes los cuales aumentan el rendimiento (Kruker *et al.* 2023).

De acuerdo con los resultados de este estudio, el rendimiento sin aplicar bocashi fue de 0.9 t ha⁻¹ y el rendimiento máximo de 1.37 t ha⁻¹ al utilizar 9 kilogramos bocashi árbol⁻¹, el cual supera al rendimiento promedio del estado de Nayarit de 1.08 t ha⁻¹. La producción promedio nacional de café en 2023 fue 1.62 t ha⁻¹ (SIAP 2024a). Factores como la edad de las plantas y la densidad de siembra pueden intervenir con el rendimiento total del cultivo. En esta investigación se utilizaron árboles con una edad de 25 años y con una densidad de siembra de 1 100 árboles ha⁻¹. De acuerdo con Pulgarín (2007), el ciclo de vida de los árboles de café en condiciones comerciales alcanza hasta 25 años dependiendo de las condiciones o sistema de cultivo, y su máxima productividad es entre los 6 y 8 años. Es necesario realizar investigación del uso del bocashi bajo diferentes densidades de siembra y con la edad máxima de productividad en el cultivo de café. En una evaluación de diferentes estrategias de nutrición, se utilizaron plantas con edad de 2.5 años, a una densidad de siembra de 3 333 plantas ha⁻¹. Se encontró que la máxima producción promedio de café cereza obtenida fue de 9.6 t ha⁻¹ (Alvarez-Lino *et al.* 2023).

CONCLUSIONES

La aplicación de bocashi al cultivo de café aumentó los rendimientos en comparación al tratamiento sin aplicación en un 38.8, 50 y 52.2% a medida que se incrementó la dosis de 3, 6 y 9 kg árbol⁻¹, respectivamente. Esto se puede atribuir a la riqueza nutricional del abono aunado a la gran cantidad de microorganismos benéficos que posee. El análisis económico arrojó que únicamente la dosis de 3 kg es rentable cuando el precio del café alcanza un mínimo de 19.14 pesos por kilogramo. Por debajo de ese precio de mercado no es costable aplicar bocashi en plantaciones de café de la región en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al doctor José de Jesús Espinoza Arellano por su valiosa colaboración en el análisis económico que se realizó en esta investigación.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abebe TG, Tamtam MR, Abebe AA, Abtemariam K, Shigut TG, Dejen YA, Haile EG (2022) Growing use and impacts of chemical fertilizers and assessing alternative organic fertilizer sources in Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science* 2022: 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/4738416>
- Aguilar-Jiménez CE, Alvarado-Cruz I, Martínez-Aguilar FB, Galdámez-Galdámez J, Antonio Gutiérrez-Martínez A, Morales-Cabrera JA (2016) Evaluación de tres abonos orgánicos en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en etapa de vivero. *Siembra* 3: 011-020. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.211>
- Alvarez-Lino M, Ruilova V, Abad-Guamán R, Capa-Morocho M (2023) Influencia de diferentes estrategias de nutrición en la etapa reproductiva del café (*Coffea arabica*) en la región sur del Ecuador. *CEDAMAZ* 13: 195-204. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i2.1831>
- Amalia L, Budiasih R, Ria ER, Widodo RW, Kuswati U (2020) Fermented compost and N-fertilizer for enhancing the growth and productivity of purple eggplant on vertisols. *Open Agriculture* 5: 898-904. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0084>
- Boudet-Antomarchi A, Boicet-Fabré T, Santos-Durán R, Meriño Y, Hernández ME (2017) Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro Agrícola* 44: 37-42.
- Boudet-Antomarchi A, Chinchilla-Calderón VE, Boicet-Fabré T, González-Gomez G (2015) Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. California wonder. *Centro Agrícola* 42: 5-9.
- Canseco-Martínez D, Villegas-Aparicio Y, Castañeda-Hidalgo E, Carrillo-Rodríguez JC, Robles C, Santiago-Martínez GM (2020) Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11: 1285-1298. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2612>
- CIMMYT (1988) La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT. México. 79p.
- Cruz R, Zárate A, Rojas E, Poma V (2020) Efecto del abono orgánico acelerado en plantones de café (*Coffea arabica* L.). *Anales Científicos* 81: 376-384. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v81i2.1667>
- Das S, Chatterjee A, Pal TK (2020) Organic farming in India: A vision towards a healthy nation. *Food Quality and Safety* 4: 69-76. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa018>
- Espinosa-García JA, Uresti-Gil J, Vélez-Izquierdo A, Moctezuma-López G, Uresti-Durán D, Góngora-González SF, Inurreta-Aguirre HD (2016) Productividad y rentabilidad potencial del café (*Coffea arabica* L.) en el trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1: 2011-2024.
- Espinoza-Arellano JDJ, Cano-Ríos P, Medina-Elizondo M, Molina-Morejón VM (2010) Evaluación técnica y económica de la generación y transferencia de la tecnología de producción “camas angostas” en melón en la Comarca Lagunera, México. *Producción agrícola – Agrofaz* 10: 137-144.
- Eyinate GA, Mushunje A, Yusuf SFG (2021) The willingness to consume organic food: A review. *Food and Agricultural Immunology* 32: 78-104. <https://doi.org/10.1080/09540105.2021.1874885>
- Gómez-Martínez MJ (2019) El café en México: diversidad de sistemas y de especies, En: Mora-Delgado J, Gómez-Martínez MJ, Rodríguez-Rodríguez P (eds) *Retrospectiva del café en Mesoamérica y Colombia: Un análisis de casos*. Universidad del Tolima. Ibagué-Tolima. Colombia. pp. 7-45.
- Gómez-Velasco DA, Álvarez-Solís JD, Ruiz-Valdiviezo VM, Abud-Archila M, Montes-Molina JA, Dendooven L, Gutiérrez-Miceli FA (2014) Enzymatic activities in soil cultivated with coffee (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon') and amended with organic material. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45: 2529-2538. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.932375>
- González-González JA (2008) Manual básico SPSS: Manual de introducción a SPSS. Programa jóvenes profesionales. Centro de inserción laboral. Universidad de Talca, Chile. 79p.

- Hernández ME (1989) Influencia de la temperatura en las etapas fenológicas del café. Investigaciones Geográficas 1: 53-70. <https://doi.org/10.14350/rig.58981>
- INIFAP (2023) Elaboración Bocachi. Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. Estrategia de Acompañamiento Técnico. INIFAP. México. 25p.
- Kruker G, Guidi ES, Santos JM, Mafra ÁL, Almeida JA (2023) Quality of bokashi-type biofertilizer formulations and its application in the production of vegetables in an ecological system. Horticulturae 9: 1314. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9121314>
- López-García FJ, Cruz-Castillo JG, Escamilla-Prado E (2021) Variedades de *Coffea arabica* L. con manejo orgánico en Oaxaca. Acta Agrícola y Pecuaria 7: E0071014. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071014>
- López-Tolentino G, Muñoz-Osorio GA, Marín-Colli EE, Castillo-López E, Canul-Tun CE, Alonso-Zuñiga E (2023) Fertilización con bokashi sobre el crecimiento y rendimiento de tomate bola (*Solanum lycopersicum* L.) en Yucatán. Avances en Investigación Agropecuaria 27: 166-174. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.28>
- Martínez HEP, Andrade SA, Santos RHS, Baptistella JLC, Mazzafera P (2024) Agronomic practices toward coffee sustainability: A review. Scientia Agrícola 81:e20220277. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2022-0277>
- Mendivil-Lugo C, Nava-Pérez E, Armenta-Bojórquez AD, Ruelas-Ayala RD, Félix-Herrán JA (2020) Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. Biotecnia 22: 17-23. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1120>
- Montes-Rojas C, Anaya-Flórez MDS (2019) Efecto de la fertilización con abono orgánico (A.L.O.F.A) en plantas de café (*Coffea arabica*). Scientia Et Technica 24: 340-348. <https://doi.org/10.22517/23447214.19801>
- Montoya REC, Jaramillo RA (2016) Efecto de la temperatura en la producción de café. Cenicafé 67: 58-65.
- Mosquera AT, Melo M, Quiroga C, Avendaño D, Barahona M, Galindo F, Lancheros J, Prieto S, Rodríguez A, Sosa D (2016) Evaluación de fertilización orgánica en cafeto (*Coffea arabica*) con pequeños productores de Santander, Colombia. Temas Agrarios 21: 90-101. <https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.894>
- Mota-Fernández IF, Valdés-Rodríguez OA, Sol-Quintas G, Pérez-Vázquez A (2019) Response to bocashi and the vermicompost of *Moringa oleifera* Lam. after pruning. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10: 289-299. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.827>
- Muñoz-Rocha BG, Zermeño-González A, Ramírez-Rodríguez H, Betancour-Galindo B, Hernández-Pérez A (2025) Bocashi y fertilización NPK afectan la producción de higuera cv. Black Mission. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12: e4179. <https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4179>
- Murillo-Montoya SA, Mendoza-Mora A, Fadul-Vasquez CJ (2020) La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales 7: 58-68. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Pegorer-de-Siqueira AP, De-Siqueira MFB (2013) Bokashi adubo orgânico fermentado. Manual Técnico 40. Niterói: Programa Rio Rural. Brasil. 16p.
- Prisa D (2020) EM-Bokashi addition to the growing media for the quality improvement of *Kalanchoe blossfeldiana*. International Journal of Multidisciplinary Sciences and Advanced Technology 1: 52-59.
- Pulgarín JA (2007) Crecimiento y desarrollo de la planta de café. In: Chinchíná (ed) Sistemas de producción de café de Colombia. Cenicafé. Colombia. pp. 21-60.
- Quiroz M, Céspedes C (2019) Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 19: 237-248. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0009-9>
- Ramírez-Builes VH, Jaramillo-Robledo Á, Arcila-Pulgarín J (2013) Factores climáticos que intervienen en la producción del café en Colombia, En: Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

- Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Colombia. pp. 205-237. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_10
- SAS (2022) SAS® OnDemand for Academics. Statistical Analysis System. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. https://www.sas.com/en_us/software/on-demand-for-academics.html. Fecha de consulta: 24 de junio de 2024.
- SADER (2018) México, onceavo productor mundial de café. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe>. Fecha de consulta: 14 de abril 2024.
- SADER (2022) Cultivo de café en México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>. Fecha de consulta: 14 de abril 2024.
- Santos CC, Vieira MDC, Zárate NAH, Carnevali TDO, Gonçalves WV (2020) Organic residues and bokashi influence in the growth of *Alibertia edulis*. Floresta E Ambiente 27: e20171034. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.103417>
- SIAP (2024) Anuario estadístico de la producción agrícola (Café cereza). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 24 de noviembre 2024