

Bocashi y fertilización NPK afectan la producción de higuera cv. Black Mission

Bocashi and NPK fertilization on the production of fig tree cv. Black Mission

Belén Guadalupe Muñoz-Rocha¹ , Alejandro Zermeño-González¹ , Homero Ramírez-Rodríguez² , Rebeca Betancour-Galindo³ , Armando Hernández-Pérez^{2*} 

¹Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

²Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro No. 1923, CP. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

³Centro de Investigación de Química Aplicada, Boulevard Enrique Reyna Hermosillo No. 140, CP. 25298. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: hernandez865@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 14 de mayo 2024

Aceptado: 22 de mayo 2025

RESUMEN. El bocashi es un abono orgánico que aporta nutrientes al suelo y a la planta. Por otro lado, la higuera es un frutal de bajo requerimiento nutrimental. El objetivo del estudio fue obtener la dosis óptima entre bocashi y la fertilización con NPK que permita mayor crecimiento y rendimiento de la higuera, y su efecto en la concentración de iones en la solución de suelo. Se evaluaron tres dosis de bocashi (0, 5 y 10 kg planta⁻¹) y cinco concentraciones de NPK (0, 25, 50, 75 y 100%), en total 15 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de 3 x 5, con tres repeticiones. Se evaluó: altura final, diámetro de tallo, biomasa seca aérea, rendimiento estimado, concentración de NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ en la solución de suelo. Los resultados mostraron que el mayor diámetro de tallo se presentó con la adición de 5 kg de bocashi con el 50% de la fertilización, mientras que, la biomasa seca se incrementó al adicionar bocashi y una fertilización al 25% y 50%. Además, el uso de bocashi no influyó en la concentración de iones cuando se adicionó mayor cantidad de fertilizante. Asimismo, el mayor rendimiento se obtuvo con 10 kg de bocashi y una fertilización al 25%. Se puede concluir que la aplicación del bocashi puede disminuir un 75% de la fertilización en el primer año de plantación en el cultivo de higo.

Palabras clave: *Ficus carica*, solución de suelo, Black Mission, crecimiento, abono orgánico.

ABSTRACT. Bocashi is an organic fertilizer supplying nutrients to the soil and to the plants. On the other hand, the Fig-fruit tree crop requires low nutrients. The goal of this research was to determine the optimum rates of Bocashi and NPK fertilization to obtain the highest growth and yield of fig trees; as well as studying their effect on the ion concentration in the soil solution. Three rates of bocashi (0, 5 and 10 kg plant⁻¹) and five concentrations of NPK (0, 25, 50, 75 and 100%) were assessed; 15 treatments in total. The experimental design was fully randomized with factorial arrangement of 3x5, with three replicates. We assessed: final height, stalk diameter, aerial dry biomass, estimated yield and the concentration of NO₃⁻, K⁺ and Ca²⁺ in the soil solution. The results showed that then the largest stalk diameter was obtained with the addition of 5 kg of bocashi at 50% inorganic fertilization, while dry biomass increased after adding bokashi and inorganic fertilization at 25% and 50%. Furthermore, the use of Bocashi did not influence ion concentration when larger amounts of fertilizer were added. Furthermore, the highest yield was obtained with 10 kg of bocashi and 25% fertilization. It can be concluded that applying bocashi can reduce fertilization by 75% in the first year of planting in fig crops.

Keywords: *Ficus carica*, soil solution, Black Mission, growth, organic fertilizer.

Como citar: Muñoz-Rocha BG, Zermeño-González A, Ramírez-Rodríguez H, Betancour-Galindo R, Hernández-Pérez A (2025) Bocashi y fertilización NPK afectan la producción de higuera cv. Black Mission. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4179 DOI: 10.19136/era.a12n2.4179

INTRODUCCIÓN

EL suelo es uno de los ecosistemas más complejos y diversos del mundo, proporciona a la humanidad más del 95% de los alimentos ya sea de manera directa o indirecta (Dominati *et al.* 2014), pero este es finito, y el rápido crecimiento de la población humana junto con el aumento del consumo de alimentos, está ejerciendo una presión sin precedentes a través de la intensificación de la producción agrícola (Kopittke *et al.* 2019).

A nivel mundial, los productores optan por el uso de fertilizantes minerales solubles, los cuales contribuyen a aumentar el rendimiento de los cultivos y, en consecuencia, incrementar la producción de alimentos (Wang *et al.* 2018). La FAO señala que, en el año 2021 el consumo de fertilizantes a nivel mundial fue de 195.09 millones de toneladas (t), esto corresponde 108.69 millones de t de fertilizantes nitrogenados (55.71%), 46.27 millones de t de fosfatados (23.64%) y 40.13 millones de t de potásicos (20.57%) (FAOSTAT 2021).

En México el consumo de fertilizantes fue de 2.19 millones de toneladas en el mismo año, de nitrogenados fue 60.27%, fosfatados 28.76% y potásicos 11.42% (FAOSTAT 2021). Sin embargo, el consumo excesivo de estos fertilizantes ha generado la degradación del suelo y de los ecosistemas, contaminación del aire y de las aguas subterráneas, desequilibrio biológico y reducción de la biodiversidad (Chen *et al.* 2018, Wang *et al.* 2018). Por estas razones la tendencia global del manejo de los sistemas de producción agrícola demanda conocimientos básicos de los recursos, como el uso de los abonos orgánicos aplicados a suelos sometidos a cultivos intensivos (Ramos *et al.* 2014), debido a que mejoran las propiedades físicas y químicas como la tasa de infiltración del agua y la porosidad, además liberan gradualmente nutrientes en el suelo facilitando su disponibilidad para los cultivos (Cen *et al.* 2020, Shaji *et al.* 2021). La incorporación de abonos orgánicos, como el bocashi, es una alternativa viable para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos al tiempo que promueve la sustentabilidad ambiental (Gashua *et al.* 2022).

La higuera (*Ficus carica* L.) es un frutal de gran importancia agronómica y comercial, especialmente en regiones áridas y semiáridas, debido a su notable resistencia a la sequía y a sus bajos requerimientos nutricionales, lo que le permite desarrollarse en condiciones ambientales limitantes (Martínez-Macías *et al.* 2022). Esta especie es capaz de crecer en suelos pobres y bajo condiciones climáticas adversas, lo que la convierte en una opción rentable y sostenible para pequeños y medianos productores.

A nivel global, el fruto de la higuera ya sea en forma de breva o higo, es altamente valorado por sus propiedades nutraceuticas, su alto contenido de azúcares, fibra, minerales y antioxidantes naturales como los polifenoles (Mahmoudi *et al.* 2018, Yasmeen *et al.* 2020). En los últimos años, la demanda de higos frescos y procesados ha mostrado un crecimiento constante tanto en el mercado nacional como internacional, favoreciendo el desarrollo de nuevas zonas productoras y el interés comercial por su cultivo (FAO 2022, Flaishman y Aksoy 2022). México cuenta con condiciones agroclimáticas favorables para el cultivo de higo y ha mostrado un aumento en la superficie establecida, particularmente en estados como Morelos, Baja California y Zacatecas (SADER 2022). No obstante, para consolidarse como uno de los principales países productores a nivel mundial, es necesario incrementar el rendimiento, adelantar las cosechas y obtener frutos de calidad (Soberanes

et al. 2020). Por lo que, el objetivo del estudio fue obtener la dosis óptima de bocashi y de fertilización con NPK que incremente el crecimiento y rendimiento de la higuera (*Ficus carica* L.), y su efecto en la concentración de iones en la solución del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y condiciones ambientales

La presente investigación se llevó a cabo en los meses de abril a diciembre del 2021, en el campo experimenta del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21' 22.7" LN y 101° 02' 09.4" LO) y, 1 710 msnm. El clima se clasifica como BS0hw, de acuerdo con Köppen, modificado por García (2004), es semicálido con lluvias en verano e invierno fresco, con rango de temperatura entre 18 a 22 °C, y 370 mm de lluvia (INEGI 2000, Sánchez-López 2022). Durante el experimento se presentó una temperatura promedio anual de 21.1 °C y humedad relativa promedio de 46.6%.

También, se realizó un análisis de fertilidad del suelo previo al establecimiento del experimento, el cual mostró las siguientes características físicas y químicas: textura franco arcilloso, densidad aparente de 1.03 g cm³, contenido de materia orgánica del 1.54%, conductividad eléctrica de 1.2 dS m⁻¹ y un pH de 8.0*. En cuanto a los nutrientes, se registraron concentraciones de 7.5 ppm de nitrógeno (N), 30 ppm de fósforo (P), 320 ppm de potasio (K), 3 200 ppm de calcio (Ca), 306 ppm de magnesio (Mg), y 0.10 ppm de azufre (S). Respecto a los micronutrientes, se observaron 3.61 ppm de hierro (Fe), 10.8 ppm de zinc (Zn), 6.47 ppm de manganeso (Mn), 0.52 ppm de cobre (Cu) y 3.22 ppm de boro (B).

Material vegetal

El material vegetal utilizado consistió en estacas enraizadas de higuera (*Ficus carica* L.) del cultivar Black Mission, con una longitud promedio de 30 cm y 1.5 cm de diámetro de tallo. Esta variedad, también es conocida como Mission fig o Franciscana, es un cultivar bífero, es decir, produce dos tipos cosechas durante la temporada, brevas e higos, el fruto se caracteriza por ser de color violeta intenso en la parte externa y un color fresa en el interior, con peso promedio de 30 g.

Elaboración y maduración del abono

La elaboración del abono bocashi fue de acuerdo con la metodología descrita por Restrepo (2010), como material para su elaboración se utilizó: Tierra *in situ*, sirre vacuno, carbón vegetal, harina de rocas, salvadillo, melaza, levadura y agua. Durante su maduración se monitoreo la temperatura para lo cual se utilizó un termómetro para compostas (marca REOTEMP modelo A24FR-C43), para ello, se introdujo a tres profundades (15, 30 y 45 cm) y en tres puntos diferentes; ya que, la temperatura es un factor importante que considerar durante el proceso de maduración, y como sugieren Medina-Saavedra *et al.* (2016) no debe superar los 70 °C para evitar la desnaturalización de los nutrimentos. Una vez concluido el proceso de maduración, que tuvo una duración aproximada de 21 días y finalizó cuando la temperatura del abono se igualó a la del ambiente, se tomó una muestra representativa de 1 kg, para determinar la fertilidad del abono (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de fertilidad del abono bocashi.

Determinación	Resultados
Materia orgánica	14.9%
Relación C/N	16.90
pH	8.36
CE	4.40 dS m ⁻¹
Nitrógeno total	0.51%
Fósforo (P)	0.61%
Potasio (K)	1.15%
Calcio (Ca)	7.74%
Magnesio (Mg)	0.60%
Sodio (Na)	0.14%
Azúfre (S)	0.43%
Hierro (Fe)	12 546.00 ppm
Cobre (Cu)	21.99 ppm
Manganeso (Mn)	293.00 ppm
Zinc (Zn)	189.00 ppm
Boro (B)	22.0 ppm

C/N = carbono/nitrógeno, pH = potencial de hidrógeno, CE = conductividad eléctrica.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en tres dosis de bocashi (0, 5 y 10 kg planta⁻¹) y cinco concentraciones de fertilización química a base de NPK (0, 25, 50, 75 y 100%). La combinación de ambos factores resultó en un total de 15 tratamientos (Tabla 2), cada tratamiento conformado por tres repeticiones y cada repetición por una planta. La dosis de referencia para calcular los porcentajes de fertilización fue de 15-9-15 kg ha⁻¹ (N-P-K), establecida conforme a las recomendaciones de Mendoza-Castillo *et al.* (2019) para el primer año de plantación de higuera. La fertilización se aplicó de forma manual con una frecuencia semanal, diluyendo la cantidad de fertilizante correspondiente a cada tratamiento y se suministró 2 L de agua por planta, y distribuyéndose en fracciones a lo largo de los siete meses que duró el experimento. Como fuentes de nutrientes se utilizaron: fosfonitrato, fosfato monoamónico (MAP) y nitrato de potasio (NKS).

Trasplante y marco de plantación

El trasplante se realizó el 8 de abril del 2021, en pozos de 40 cm de largo x 40 cm de ancho x 30 cm de profundidad, previo a la plantación se colocó la cantidad del bocashi correspondiente a cada tratamiento. El marco de plantación utilizado fue tres bolillos a distancia entre árboles de 3 m y entre hileras 3 m, la densidad de plantación fue de 1 265 árboles por hectárea. El área total de la experimentación fue de 540 m².

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados de la combinación de dosis de bocashi y las concentraciones de fertilización NPK.

Tratamiento	Bocashi (kg planta ⁻¹)	Fertilización NPK (%)
1	0	0
2	0	25
3	0	50
4	0	75
5	0	100
6	5	0
7	5	25
8	5	50
9	5	75
10	5	100
11	10	0
12	10	25
13	10	50
14	10	75
15	10	100

Riego

Se utilizó un sistema de riego por goteo, colocando una línea de manguera ciega de 16 mm (Toro Blue Stripe®, mod. EHD1335-100, EE. UU.) y en cada planta se colocaron dos goteros autocompensados (Wade Rain®, modelo PC2, EE. UU.) a una distancia de 30 cm de la higuera, con un gasto hidráulico de 2 L h⁻¹, este sistema de permitió dosificar 4 L h⁻¹, los riegos se aplicaron cada tercer día con una duración promedio de tres horas.

Crecimiento

El experimento finalizó a los 251 días después del trasplante, se determinó la altura final desde la base del tallo hasta la parte apical de la planta, utilizando un flexómetro. El diámetro de tallo se midió a 15 cm de la base del tallo, utilizando un vernier digital (modelo 1108-150).

Biomasa seca

Los tallos y hojas fueron separados en bolsas de papel estraza y posteriormente se introdujeron en un horno de secado (Blue M®, modelo POM-246.F, EE. UU.) a una temperatura de 65 °C durante 72 h, para después registrar la biomasa seca de cada órgano en una báscula digital marca Torrey modelo PCR-40. La biomasa seca aéreo se obtuvo mediante una suma aritmética de la biomasa seca de tallos y hojas.

Concentración de iones de la solución del suelo

Para la evolución de esta variable se colocaron tres lisímetros (Irrometer®, modelo SSAT-12, EE. UU.) a una profundidad de 30 cm en cada tratamiento. La solución se extrajo una vez por semana desde el 3 de septiembre hasta el 3 de noviembre del 2021. La solución se obtuvo 24 horas después de haber aplicado la fertilización, las concentraciones de los iones (NO_3^- , K^+ y Ca^{2+}) de esta solución fueron determinadas por los Ionómetros Horiba LAQUAtwin® (Japón).

Rendimiento estimado

Se contabilizó y se pesó cada uno de los frutos que produjo la higuera, sin embargo, solo el 60% del total de los higos fueron cosechados con la madurez óptima ya que, se presentaron heladas tempranas en la zona. Se obtuvo el promedio de los frutos cosechados y se realizó una suma aritmética de los frutos con un tamaño mayor igual a 3 cm de diámetro no cosechados.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA), bajo un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial 3×5 , con tres repeticiones. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Duncan ($\alpha \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System), versión 9.2.

RESULTADOS

Crecimiento y biomasa seca

El crecimiento y la biomasa seca de las higueras fueron afectados por la aplicación de bocashi y por la fertilización con NPK. Sin embargo, la altura final (AF) de las higueras no presentó diferencia significativa con la aplicación de este abono. Por otro lado, el diámetro de tallo (DT), la biomasa seca de hojas (BSH), de tallo (BST) y de la parte aérea (BSA) presentaron diferencias significativas (Tabla 2). La concentración de fertilización a base de NPK afectaron de forma significativa la AF, DT, BSH, BST y BSA. Estas mismas variables fueron afectadas por la interacción entre estos dos factores, con excepción de la AF.

El mayor DT, BSH y BSA se observó en aquellas higueras que se les adicionó 10 kg de bocashi, mientras que, la BST se incrementó independientemente de la dosis de abono aplicado. La AF, DT, BSH y BSA se aumentaron cuando estas fueron fertilizadas con el 50% de la dosis de NPK, pero, la BST registró un aumento con la dosis de 25 y 50% de NPK. En las higueras que fueron tratadas con la dosis de 100% de NPK presentaron una reducción en todas las variables evaluadas (Tabla 3).

El DT se incrementó conforme aumentó la concentración de NPK hasta un 50%, comportamiento que fue independiente de la dosis de bocashi. No obstante, con el 50% de NPK y la adición de 10 kg de bocashi, se registró un incremento aún mayor en el DT. Por otra parte, a concentración del 50% de NPK el DT disminuyó indistintamente de las dosis de bocashi, no obstante, esta disminución fue mayor al suministrar una concentración de 100% de NPK y una dosis de 0 y 5 kg de bocashi por planta (Figura 1A). La BST se incrementó a concentración del 25% de NPK y las dosis de 5 kg y 10 kg de bocashi por planta, sin embargo, este fue mayor en higueras que fueron

tratadas con 10 kg de bocashi. Esta tiende a disminuir cuando se utilizó una concentración mayor al 25% de NPK, este efecto se observó independientemente de las dosis de bocashi aplicado, no obstante, la mayor disminución de BST se presentó cuando se utilizó una concentración del 100% de NPK y 5 kg de bocashi (Figura 1B).

Tabla 3. Efecto de la aplicación de bocashi y de la fertilización NPK en el crecimiento y biomasa seca en higuera cv. Black Mission.

Bocashi (kg planta ⁻¹)	Altura final (cm)	Diámetro de tallo (g)	Biomasa seca de tallo (g)	Biomasa seca de hojas (g)	Biomasa seca aérea (g)
0	42.1a	22.4b	265.5b	358.2c	647.5c
5	45.3a	22.9b	289.3a	412.2b	677.8b
10	43.4a	25.0a	308.8a	479.2a	789.9a
ANVA <i>p</i> ≤	0.406	0.001	0.014	0.001	0.001
Fertilización NPK (%)					
0	44.0b	23.7b	322.4b	464.8c	818.0b
25	46.1b	24.5b	353.0a	503.8b	826.2b
50	53.3a	27.2a	364.5a	549.4a	913.9a
75	47.1ab	22.4c	278.7c	365.4d	644.1c
100	27.1c	19.4d	120.0d	199.3e	319.9d
ANVA <i>p</i> ≤	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.001
Interacción <i>p</i> ≤	0.191	0.001	0.001	0.001	0.001
CV (%)	14.82	4.23	10.13	6.16	573

ANVA = análisis de varianza, NPK = nitrógeno-fosforo-potasio, Interacción = bocashi x NPK, CV = coeficiente de variación. Las letras a, b, c, d, y e son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Duncan ($\alpha \leq 0.05$).

En la BSH se obtuvo un incremento en los árboles de higo que recibieron una concentración del 0 al 50% de NPK en combinación con 5 kg de bocashi por planta, similar comportamiento se observa con la dosis de 10 kg de bocashi, pero, este efecto solo se presentó utilizando 0 y 25% de la concentración de NPK, ya que concentraciones mayores a esta, la BSH disminuyó. Por otra parte, la mayor BSH se obtuvo en las higueras que fueron tratadas con 50% de NPK y 5 kg de bocashi (Figura 1C). La BSA tiende a incrementar indistintamente de la dosis de bocashi y con aplicación de 0% hasta 50% de NPK, pero, la mayor BSA se presentó en higueras que fueron tratadas con la dosis de 5 Kg de bocashi en combinación con la concentración del 50% de NPK. Concentraciones mayores al 50% de NPK la BSA tuvo disminución independientemente de la dosis de bocashi, esta disminución fue menos drástica con 10 kg de bocashi. La menor BSA se presentó con 5 kg de bocashi y 100% de NPK (Figura 1D).

Concentración de iones en la solución del suelo y rendimiento estimado

La producción de higo y la concentración de iones (NO_3^- , K^+ y Ca^{2+}) en la solución de suelo fueron afectados por las dosis de bocashi y las concentraciones de NPK. La concentración de nitrato (NO_3^-), potasio (K^+) y calcio (Ca^{2+}) fueron influenciados de forma significativa por la adición de bocashi

y las concentraciones de NPK. La interacción de estos dos factores afectó de forma significativa las variables antes mencionadas con excepción de K⁺ (Tabla 4).

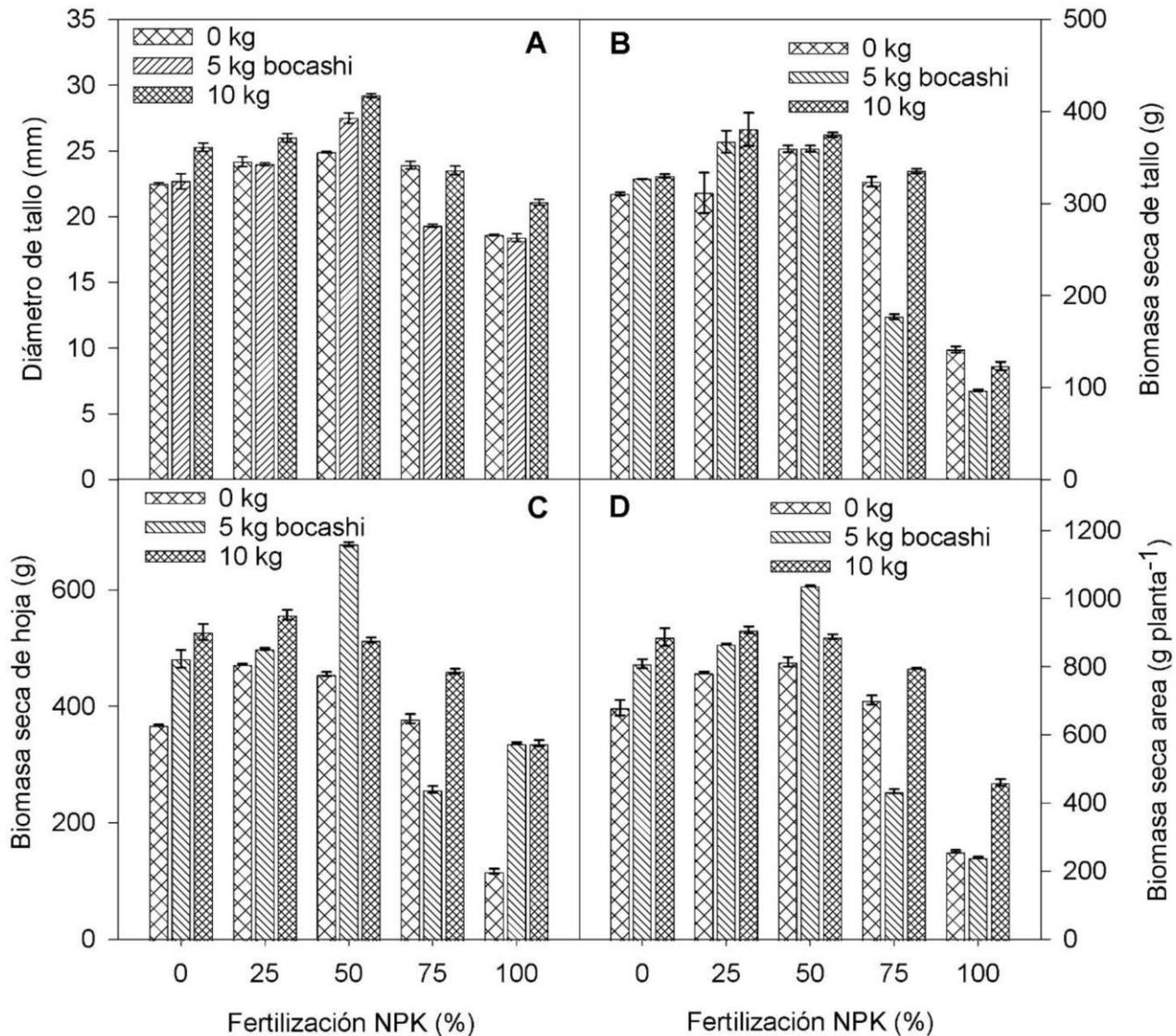


Figura 1. Efecto de la interacción entre bocashi y la fertilización NPK en diámetro del tallo (A), biomasa seca de tallo (B), biomasa seca de hoja (C) y biomasa seca aérea (D) en higuera cv. Black Mission. Las barras indican el error estándar de la media.

La mayor concentración de NO₃⁻ se registró al suministrar 0 y 10 kg bocashi en comparación de la solución de suelo obtenida con la aplicación de 5 kg. Por otro lado, la concentración de K⁺ y Ca²⁺ se incrementó al suministrar de bocashi independientemente de la dosis. El Ca²⁺ aumenta de manera proporcional a la dosis de abono comparando con las soluciones obtenidas con 0 kg de bocashi. Por otro lado, la incorporación de 10 kg de bocashi en las higueras permitió obtener un mayor RE. Al suministrar el 100% de NPK se obtuvo la mayor concentración de NO₃⁻ y Ca²⁺, mientras que el ion K⁺ fue mayor cuando se aplicó el 25 y 100% de la fertilización NPK. El mayor RE se obtuvo en higueras que fueron fertilizadas con el 50% de NPK (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de la aplicación bocashi y de la fertilización con NPK en la concentración de iones de la solución del suelo y producción de higo en plantas de higuera cv. Black Mission.

Bocashi (kg planta ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Rendimiento estimado (g planta ⁻¹)
0	79.10a	15.47b	88.13c	781.9b
5	72.40b	17.80a	101.67b	814.2b
10	76.00a	19.20a	113.13a	1090.7a
ANVA p ≤	0.0398	0.0009	0.0001	0.0001
Fertilización N-P-K (%)				
0	45.7d	13.6c	60.4d	765.9c
25	52.6d	20.3a	108.4c	1016.0b
50	68.6c	14.4c	90.4b	1098.0a
75	80.5b	17.3b	102.2b	1073.4ab
100	135.5a	21.3a	143.6a	524.6d
ANVA p ≤	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Interacción p ≤	0.0001	0.0659	0.0001	0.0001
CV (%)	9.776	14.202	7.796	6.73

ANVA = análisis de varianza, NPK = nitrógeno, fosforo, potasio, Interacción = Bocashi con fertilización NPK, CV = coeficiente de variación, NO₃⁻ = ion nitrato, K⁺ = ion potasio, Ca²⁺ = ion calcio. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con Duncan ($\alpha \leq 0.05$).

La concentración de NO₃⁻ fue mayor al aplicar una concentración del 50 y 75% de NPK en combinación con 0 Kg de bocashi, al adicionar el 100% de la concentración NPK la concentración de este ion disminuyó. Sin embargo, la mayor concentración de NO₃⁻ en la solución de suelo se presentó al suministró de 10 kg de bocashi y con el 100% de NPK (Figura 2A). Además, el suministro de 5 kg de bocashi la concentración este ion aumentó conforme se incrementó la concentración de NPK de un 50% hasta 100%. No obstante, la concentración de NO₃⁻ es menor con la incorporación de 10 kg de bocashi y con las concentraciones de 25, 50 y 75% de NPK (Figura 2A). La concentración de Ca²⁺ fue mayor al incorporar 10 kg de bocashi y el 100% de la fertilización, con concentraciones inferiores a la mencionada, la concentración de este ion tiende a disminuir (Figura 2B)

El rendimiento estimado (RE) se incrementó en plantas tratadas con 25 y 50% de NPK sin la adición de bocashi, pero disminuye al aplicar el 50% de NPK. No obstante, el mayor RE se obtuvo con la concentración de 25% de NPK en combinación con 10 Kg de bocashi. Mientras que, el menor RE se obtuvo con el 100% de la fertilización y 5 kg de bocashi (Figura 2C).

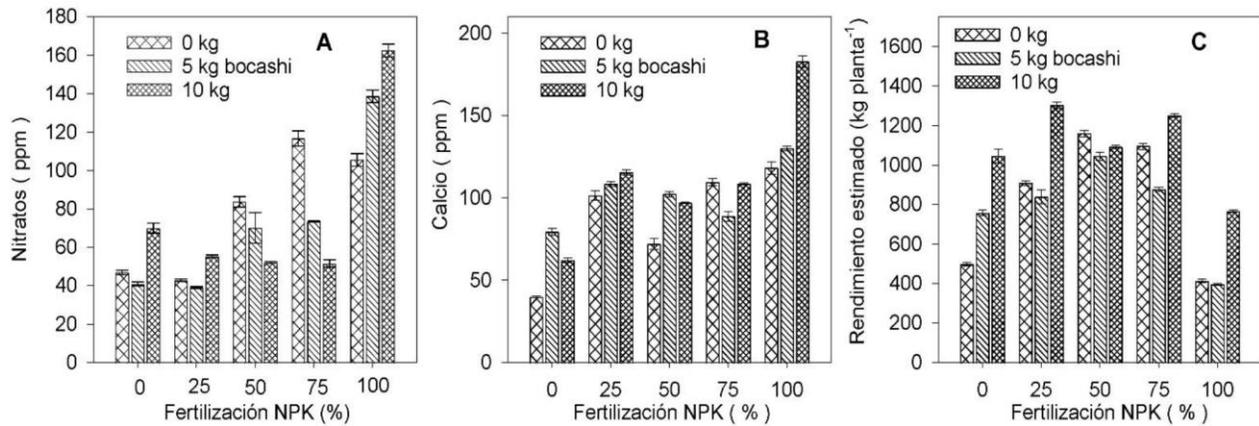


Figura 2. Efecto de la interacción de bocashi y la fertilización NPK en el contenido de nitratos (A), calcio (B) en la solución del suelo y en el rendimiento estimado (C) de la higuera cv. Black Mission. Las barras indican el error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Crecimiento y biomasa seca

La incorporación de bocashi en los sistemas agrícolas mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, lo que favorece una mayor disponibilidad de nutrientes. Esta mejora en la disponibilidad puede contribuir a una mayor absorción por parte de las plantas, reflejándose en un incremento en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Asimismo, la adición de este abono permite reducir el uso de fertilizantes inorgánicos (Karimuna *et al.* 2016, Ginting 2019, Ramlan 2022). Diversos autores como; Albuquerque *et al.* (2013), Doan *et al.* (2015), y Agegnehu *et al.* (2016) mencionan que, la aplicación de enmiendas orgánicas estimula el crecimiento de las plantas y mejora la eficiencia del uso de fertilizantes, especialmente cuando se combinan con fertilizantes minerales. En este estudio el DT de las higueras se incrementó al adicionar 5 kg de bocashi y 50% de la fertilización con NPK (Figura 1A), este incremento puede deberse a que el bocashi aumento la disponibilidad de nutrientes en el suelo, favoreciendo la absorción y asimilación de nutrientes esenciales como nitrógeno y potasio, los cuales estimulan procesos clave como la síntesis de proteínas, división celular y expansión de tejidos, directamente relacionados con el engrosamiento del tallo (Souza y Tavares 2021, Anil *et al.* 2024). Por otra parte, Yuliana *et al.* (2015) indican que, la aplicación de bocashi, ya sea solo o en combinación con cáñamo indio, mejora las características químicas del suelo, incluidos los contenidos de nutrientes esenciales (N, P y K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) permitiendo reducir la necesidad de fertilizante inorgánico en aproximadamente un 50% en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.).

Las prácticas adecuadas de manejo agrícola permiten optimizar la acumulación de biomasa seca en las plantas, la cual es un indicador relevante del crecimiento y estado nutricional, lo que a su vez se relaciona con un mejor rendimiento del cultivo (Zhang *et al.* 2021). En esta investigación, la mayor BSA se obtuvo con la incorporación de 5 kg de bocashi por higuera en combinación con el 50% de NPK (Figura 1D). Este incremento podría estar asociado con mayor eficiencia en el uso de los nutrientes, los cuales, al ser absorbidos en cantidades adecuadas, favorecen la síntesis de

compuestos estructurales y metabólicos clave, como aminoácidos y carbohidratos. Esto, se traduce en un crecimiento vegetativo más activo, mayor expansión foliar y mayor acumulación de materia seca en los órganos aéreos (Marschner 2012, Taiz *et al.* 2015). Resultados similares han sido reportados en otros cultivos tras la aplicación de abonos orgánicos (Abo-Sido *et al.* 2021, Efendi *et al.* 2024).

Concentración de iones en la solución del suelo

La mayor concentración de NO_3^- en la solución del suelo se observó al aplicar el 100% de NPK en combinación con 5 y 10 kg de bocashi por planta (Figura 2A). Este resultado podría atribuirse a menor crecimiento de las plantas, lo que habría limitado la absorción del ion. Además, es posible que la alta dosis de NPK haya sido excesiva, incrementando la conductividad eléctrica de la solución del suelo, lo que posiblemente redujo la capacidad de la planta para absorber nutrientes. Este fenómeno ha sido observado en otros cultivos, donde el exceso de nitrógeno puede inhibir el desarrollo del sistema radicular, reduciendo el área de absorción de nutrientes y favoreciendo la acumulación de nitratos en el suelo (Duan *et al.* 2024). Por otra parte, la aplicación de 5 kg de bocashi por planta junto con el 25% de la concentración de NPK presentó la menor concentración de NO_3^- en la solución del suelo (Figura 2A), este pudo deberse a que hubo mayor mineralización del N, lo que incrementó su disponibilidad para las plantas reflejándose en mayor crecimiento. Lo anterior es similar a lo obtenido por Chen *et al.* (2023), quienes indican que una fertilización con el 50% de abonos orgánicos y químicos, pueden aumentar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, mejorando tanto el crecimiento como la calidad de fruto de uva.

La concentración de Ca^{2+} se incrementó de manera proporcional a la dosis de NPK, independientemente de la dosis de bocashi. Sin embargo, el tratamiento con 10 kg de bocashi en combinación con el 100 % de NPK presentó la mayor concentración de este ion en la solución del suelo (Figura 2B), este efecto podría atribuirse al aporte del calcio por la dosis de 10 kg de bocashi, aunada con una alta concentración de fertilización promovió mayor acumulación Ca^{2+} en la solución de suelo, posiblemente como resultado de una disminución en la absorción por parte de las plantas. Por su parte Yang *et al.* (2024) señalan que, la menor absorción podría estar relacionada con un desarrollo limitado del sistema radicular o un desequilibrio en la disponibilidad iónica, como resultado de la competencia entre cationes por los sitios de absorción radicular. Lo anterior se vio reflejado en una reducción del diámetro de tallo, biomasa aérea y rendimiento estimado (Figura 1A, 2D y Figura 2C).

Rendimiento estimado

La incorporación de bocashi, además de aportar nutrientes esenciales, mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo y estimula la actividad microbiana, lo cual incide en una mayor mineralización de compuestos orgánicos y en una liberación gradual de nutrimentos (Lasmini *et al.* 2018, Abo-Sido *et al.* 2021). Estos procesos favorecen una mejor sincronía entre la oferta de nutrientes y la demanda fisiológica de la planta, lo que puede optimizar su absorción y utilización metabólica (Shaji *et al.* 2021). Considerando lo anterior, el mayor RE observado en las plantas tratadas con 10 kg de bocashi y 25% de NPK (Figura 2C), puede atribuirse a una mejora en la eficiencia fisiológica del uso de nutrientes, es decir, en la capacidad de la planta para transformar los nutrientes absorbidos en biomasa reproductiva (Marschner 2012, Taiz *et al.* 2015). Por otra parte,

el efecto combinado de materia orgánica y fertilización química balanceada promueve procesos fisiológicos como una mayor tasa fotosintética, síntesis de carbohidratos y proteínas, y una asignación más eficiente de fotoasimilados hacia estructuras reproductivas, lo cual se traduce en mayor formación y llenado de frutos (Fageria y Moreira 2011). En este estudio, los tratamientos con mayor BSA (Figura 1D) no necesariamente presentaron el mayor RE (Figura 2C), lo cual sugiere que un crecimiento vegetativo excesivo puede derivar en una menor participación de fotoasimilados hacia los órganos reproductivos debido a una competencia interna por recursos (Taiz *et al.* 2015).

Cabe señalar que, a pesar de las condiciones ambientales que se presentaron durante los meses de estudio los resultados sugieren que el uso de bocashi en combinación con dosis reducidas de fertilización química no solo puede contribuir a mejorar las condiciones edáficas, sino también a optimizar ciertos procesos fisiológicos asociados con la productividad del cultivo. En este sentido, se evidencia su potencial como estrategia para reducir hasta en un 75% la dosis de fertilización recomendada (Mendoza-Castillo *et al.* 2019), sin que ello implique una disminución en el rendimiento bajo las condiciones evaluadas.

CONCLUSIÓN

El uso bocashi favorece el crecimiento, la biomasa seca y rendimiento del cultivo de la higuera, así como el contenido de iones en la solución de suelo. La incorporación de 5 y 10 kg de bocashi en combinación con 25 y 50% de la fertilización de NPK incrementa el crecimiento y rendimiento del fruto de la higuera, esta misma combinación permite obtener menor concentración de iones en la solución de suelo. También, se observó que una mayor acumulación de biomasa no se tradujo en mayor rendimiento, lo que sugiere la importancia de un equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Estos resultados respaldan el potencial del bocashi como una estrategia de manejo agronómico para reducir hasta en un 75% la dosis de fertilización química el primer año de plantación sin comprometer el rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

El autor B.G. Muñoz-Rocha agradece al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por el apoyo de la beca de postgrado, para realizar los estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción la UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Abo-Sido N, Goss JW, Griffith AB, Klepac-Ceraj V (2021) Microbial transformation of traditional fermented fertilizer bokashi alters chemical composition and improves plant growth. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.08.01.454634>
- Agegnehu G, Nelson PN, Bird MI (2016) Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research* 160: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.003>
- Alburquerque JA, Salazar P, Barrón V, Torrent J, Del Campillo MDC, Gallardo A, Villar R (2013) Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development* 33: 475-484.
- Anil SK, Kaniganti S, Hima Kumari P, Sudhakar Reddy P, Suravajhala P, Kishor PK (2024) Functional and biotechnological cues of potassium homeostasis for stress tolerance and plant development. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 40(4): 3527-3570. <https://doi.org/10.1080/02648725.2023.2282512>
- Cen Y, Guo L, Liu M, Gu X, Li C, Jiang G (2020) Using organic fertilizers to increase crop yield, economic growth, and soil quality in a temperate farmland. *PeerJ* 8: e9668. <https://doi.org/10.7717/peerj.9668>
- Chen J, Lü S, Zhang Z, Zhao X, Li X, Ning P, Liu M (2018) Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment* 613: 829-839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.186>
- Chen R, Chang H, Wang Z, Lin H (2023) Determining organic-inorganic fertilizer application threshold to maximize the yield and quality of drip-irrigated grapes in an extremely arid area of Xinjiang, China. *Agricultural Water Management* 276: 108070. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108070>
- Doan TT, Henry-Des-Tureaux T, Rumpel C, Janeau JL, Jouquet P (2015) Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of The Total Environment* 514: 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.005>
- Dominati E, Mackay A, Green S, Patterson M (2014) A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecological Economics* 100: 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.008>
- Duan W, Wang S, Zhang H, Xie B, Zhang L (2024). Plant growth and nitrate absorption and assimilation of two sweet potato cultivars with different N tolerances in response to nitrate supply. *Scientific Reports* 14(1): 21286. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72422-y>
- Efendi B, Haryono H, Mariay IF, Andriyan LY, Sarungallo AS (2024) Effect of dosage of bokashi organic fertilizer on agronomic growth and productivity of rice plants (*Oryza sativa*). *West Science Agro* 2(04): 178-183. <https://doi.org/10.58812/wsa.v2i04.1451>
- Fageria NK, Moreira A (2011) The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. In: Sparks DL (eds) *Advances in Agronomy*. Vol.110. Academic Press. San Diego, CA, USA. pp. 231-251. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- FAO (2022) *Perspectivas agrícolas 2022-2031*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 337 p. <https://read.oecd.org/10.1787/1b959370-es?format=pdf>. Fecha de consulta: 7 de mayo de 2025.
- Flaishman MA, Aksoy U (2022) *Advances in fig research and sustainable production*. CABI. Massachusetts, USA. 548p.
- FOASTAT (2021) División de Estadística. Base de datos estadísticos corporativos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>. Fecha de consulta: 19 de febrero del 2022.

- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, México. 198p.
- Gashua AG, Sulaiman Z, Yusoff MM, Samad MYA, Ramlan MF, Salisu MA (2022) Assessment of fertilizer quality in horse waste-based bokashi fertilizer formulations. *Agronomy* 12(4): 937. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040937>
- Ginting S (2019) Promoting bokashi as an organic fertilizer in Indonesia: A mini review. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* 21(3): 1–5. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.21.556070>
- INEGI (2000) Diccionario de datos climáticos (vectorial). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224028/702825224028_7.pdf. Fecha de consulta: 8 de diciembre del 2023.
- Karimuna L, Rahini NM, Boer D (2016) The use of bokashi to enhance agricultural productivity of marginal soils in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Journal of Tropical Crop Science* 3(1): 1-6. <https://doi.org/10.29244/jtcs.3.1.1-6>.
- Kopittke PM, Menzies NW, Wang P, Mckenna BA, Lombi E (2019) Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International* 132: 105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lasmini SA, Nasir B, Hayati N, Edy N (2018) Improvement of soil quality using bokashi composting and NPK fertilizer to increase shallot yield on dry land. *Australian Journal of Crop Science* 12(11): 1743-1749. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.11.p1435>
- Mahmoudi S, Khali M, Benkhaled A, Boucetta I, Dahmani Y, Attallah Z, Belbraouet S (2018) Fresh figs (*Ficus carica* L.): Pomological characteristics, nutritional value, and phytochemical properties. *European Journal of Horticultural Science* 83(2): 104-113. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.2.6>
- Marschner P (2012) Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd edition. Academic Press. San Diego, CA, USA. 651p.
- Martínez-Macias K J, Márquez-Guerrero SY, Martínez-Sifuentes AR, Segura-Castruita MÁ (2022) Habitat suitability of fig (*Ficus carica* L.) in Mexico under current and future climates. *Agriculture* 12(11): 1816. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111816>
- Medina-Saavedra T, Arroyo Figueroa G, Martínez Pérez I, Vargas Rodríguez L (2016) Fertilizante orgánico bocashi en germinación de semillas de mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 4(2): 20-30.
- Mendoza-Castillo VM, Pineda-Pineda J, Vargas-Canales JM, Hernández-Arguello E (2019) Nutrition of fig (*Ficus carica* L.) under hydroponics and greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition* 42(11-12): 350-365. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609510>
- Ramlan (2022) Effect of bokashi fertilizer on increasing soil nutrients and growth of medicinal plants. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* 17(3): 433-437. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170314>
- Ramos AD, Terry AE, Soto CF, Cabrera RJA (2014) Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales* 35(2): 90-97.
- Restrepo J (2010) A, B, C de la agricultura orgánica y panes de piedra: Abonos orgánicos fermentados. 1a ed. Feriva S.A. Colombia. 86p.
- SADER (2022) ¿Qué hay detrás de la producción de higo? Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-hay-detras-de-la-produccion-de-higo>. Fecha de consulta: 13 de enero del 2024.

- Sánchez-López PL (2022) Comparativa de análisis climático para estrategias de diseño mediante simuladores y carta psicrométrica de Givoni. *Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 10(2): 148-154. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8692>
- Shaji H, Chandran V, Mathew L (2021) Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In: Lewu FB, Volova T, Thomas SKRR (eds) *Controlled release fertilizers for sustainable agriculture*. Academic Press. San Diego, CA, USA. pp. 231-245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>
- Soberanes PA, Calderón ZG, López JA, Alvarado RHE (2020) Biorreguladores para la producción de higo bajo condiciones de invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(1): 61-69. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.61>
- Souza LA, Tavares R (2021) Nitrogen and stem development: a puzzle still to be solved. *Frontiers in Plant Science* 12: 630587. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.630587>
- Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2015) *Plant physiology and development*. 6th edition. Sinauer Associates. Massachusetts, USA. 888p.
- Wang Y, Zhu Y, Zhang S, Wang Y (2018) What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers. *Journal of Cleaner Production* 199: 882-890. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>
- Yang M, Zhou, Hang H, Chen S, Liu H, Su J, Lv H, Jia H, Zhao G (2024) Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. *Agronomy* 14(3): 629. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030629>
- Yasmeen S, Saba A, Sadia N (2020) *Ficus Carica* L.: A panacea of nutritional and medicinal benefits. *Cellmed* 10(1): 1-1. <https://doi.org/10.5667/tang.2020.0001>.
- Yuliana A, Sumarni T, Islami T (2015) Application of bokashi and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) to improve inorganic fertilizer efficiency on mize (*Zea mays*). *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 3(1): 433-438. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2015.031.433>.
- Zhang Y, Xia C, Zhang X, Cheng X, Feng G, Wang Y, Gao Q (2021) Estimating the maize biomass by crop height and narrowband vegetation indices derived from UAV-based hyperspectral images. *Ecological Indicators* 129: 107985. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107985>.