

Influencia del Extracto de Sargazo y del Fertilizante Mineral en el Rendimiento de Frijol Pinto (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. San Rafael Influence of Sargassum Extract and Mineral Fertilizer on the Yield of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. San Rafael

Ana Rosa Sánchez-Camarillo¹, María Myrna Solís-Oba^{1†}, Aida Solís-Oba²,
Rubria Marlen Martínez-Casares² y Rigoberto Castro-Rivera¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino, Carretera Estatal, km 1.5. 90700 Santa Inés Tecuexcomac, Tlaxcala, México; (A.R.S.C.), (M.M.S.O.), (R.C.R.).

[†] Autora para correspondencia: myrnasolis_ipn@yahoo.com

² Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Departamento de Sistemas Biológicos. Calz. del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud. 04960 Coyoacán, Ciudad de México, México; (A.S.O.), (R.M.M.C.).

RESUMEN

El frijol tiene una relevancia mundial significativa debido a su elevado valor nutricional. Generalmente, para su cultivo se emplean fertilizantes minerales para incrementar la producción; sin embargo, su uso excesivo puede resultar perjudicial para el medio ambiente. Una alternativa es la fertilización con extractos de sargazo, con lo cual se obtiene doble beneficio, ya que, en la actualidad, la llegada de sargazo a las costas está generando problemas ambientales y económicos importantes. El propósito de este estudio fue evaluar la eficacia de la combinación de fertilización orgánica a base de extracto de sargazo (S) y fertilización mineral (M) en distintas dosis, con el fin de reducir la demanda de fertilización mineral. El estudio se realizó en dos ciclos de cultivo de frijol pinto, con tres dosis de Sargazo (S1, S2, S3) y tres de Mineral (M1, M2, M3), la combinación de estos fertilizantes (S/M) y un testigo sin fertilizar (C-), en un diseño completamente al azar. La aplicación de M o S incrementó el rendimiento en comparación con C-. Con la combinación de S2/M2 y S3/M2, el peso de las semillas superó a M3 en 5 y 10%, respectivamente. Al utilizar S1/M2 y S2/M1 se obtuvo similar peso de semillas al de M3. El peso de semillas con S3/M1 fue 7% menor que con M3. La concentración de compuestos fenólicos y flavonoides en las semillas fue superior al utilizar las mezclas S/M en comparación con el testigo sin fertilizar. El porcentaje de DPPH y la generación de antocianinas en semillas no fueron influenciados por la fertilización. El uso del extracto de sargazo y fertilización mineral son una alternativa para reducir las cantidades de fertilizante mineral, sin disminución del rendimiento; además permite aprovechar el sargazo, material de bajo costo que está ocasionando problemas, pero contienen compuestos benéficos para las plantas.

Palabras clave: antioxidantes, desarrollo vegetal, DPPH, semillas.

SUMMARY

Bean seeds are of significant global importance due to their high nutritional value. Mineral fertilizers are commonly used to enhance crop productivity; however, their excessive application can be detrimental to the environment. An alternative is the use of sargassum extracts, which both reduce the demand for mineral fertilizers and help mitigate the environmental and economic problems caused by massive sargassum accumulations on coastal areas. This study evaluated the efficacy of combining organic fertilization based on sargassum extract (S) with mineral fertilizer (M) at different doses in pinto bean cultivation. The experiment was conducted over two cropping cycles using three concentration levels of Sargassum (S1, S2, S3), three of mineral fertilizer (M1, M2, M3), their combinations (S/M), and an unfertilized control



Cita recomendada:

Sánchez-Camarillo, A. R., Solís-Oba, M. M., Solís-Oba, A., Martínez-Casares, R. M., & Castro-Rivera, R., (2025). Influencia del Extracto de Sargazo y del Fertilizante Mineral en el Rendimiento de Frijol Pinto (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. San Rafael. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-11. e2155. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2155>

Recibido: 14 de enero de 2025.

Aceptado: 7 de mayo de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Septiembre de 2025.

Editor de Sección:

Dra. Circe Aidín Aburto-González

Editor Técnico:

Dra. Elizabeth Hernández Acosta



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

(C-), in a randomized experimental design. Application of either M or S fertilizers increased yield compared with the control. The S2/M2 and S3/M2 combinations increased seed weight by 5% and 10%, respectively, relative to M3 alone, while S1/M2 and S2/M1 produced seed weights comparable to M3. In contrast, S3/M1 resulted in a 7% reduction in seed weight compared with M3. Neither the DPPH radical scavenging activity nor the anthocyanin content of the seeds was affected by fertilizer treatments. These findings indicate that the combined use of sargassum extract and mineral fertilizer is a promising strategy to reduce mineral fertilizer inputs without compromising yield, while also valorizing sargassum—a low-cost material that poses environmental challenges but contains beneficial compounds for plants.

Index words: antioxidants, vegetal growth, DPPH, seeds.

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es cultivado en más de 90 países y posee gran importancia en la agricultura a nivel global. El frijol común es una importante fuente de proteínas, fibra y una variedad de nutrientes como tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6, ácido fólico, potasio, calcio, magnesio, fósforo y hierro. Además, posee componentes bioactivos importantes, como fenoles y antioxidantes, que juegan un papel fundamental en la mejora del sistema inmunológico y el bienestar en general (Celmeli *et al.*, 2018; Kocira, Świeca, Kocira, Złotek y Jakubczyk, 2018a; García-Díaz, Aquino, Chavez, Vera y Carrillo, 2018; Rivero-Herrada, Gutiérrez, Granados y Varas, 2020). Los polifenoles tienen efectos positivos en la salud, ya que actúan como antioxidantes, antidiabéticos, antiobesidad, antiinflamatorios, antimutagénicos y anticancerígenos (García-Díaz *et al.*, 2018).

El frijol es un alimento de gran importancia en la dieta mexicana. Según el informe de SIAP 2023, la producción de frijol fue de 723 642.32 toneladas en México. No obstante, factores como la reducción de la fertilidad del suelo y problemas ambientales han disminuido el rendimiento de esta leguminosa. Por lo que ha aumentado la cantidad de fertilizante mineral utilizada con el objetivo de mejorar la eficacia en la producción agrícola. Sin embargo, el empleo excesivo de fertilizante mineral conlleva diversas problemáticas ambientales, como la contaminación del agua y del suelo, modificaciones en la composición del suelo, incremento de la acidez, perturbaciones en la población de microorganismos del suelo, además de contribuir a la emisión de gases de efecto invernadero (Báez-Pérez, Limón, Ramírez, Ortega y Olivares, 2020; Wang *et al.*, 2018). Por consiguiente, la disminución del empleo de sustancias químicas en la agricultura es un tema de gran importancia, debido a los peligros que conllevan para la salud pública y el entorno natural. No obstante, resulta fundamental no poner en riesgo la eficacia en la producción agrícola. Por lo tanto, es esencial tener en cuenta diferentes enfoques para encontrar soluciones a los desafíos agrícolas. Estos enfoques deben centrarse en la implementación de sistemas de agricultura intensiva sostenible que sean efectivos y eficientes.

Una alternativa relevante para reducir la dependencia de grandes cantidades de fertilizantes químicos y al mismo tiempo garantizar la productividad agrícola es utilizar mezclas de fertilizantes orgánicos y minerales. Los fertilizantes orgánicos son compuestos obtenidos de vegetales, animales o microorganismos que contienen nutrientes esenciales y micronutrientes. Estos elementos se liberan de manera progresiva en el suelo. Mejoran la disponibilidad y absorción de nutrientes, mantienen un equilibrio adecuado de nutrientes para favorecer el crecimiento óptimo de los cultivos, actúan como una fuente beneficiosa de microorganismos y mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, así como el desarrollo de las plantas (He, Peng, Lu, Hou y Li, 2022); sin embargo, su impacto positivo en la productividad puede demorar en hacerse evidente. Por otro lado, los fertilizantes minerales suministran de forma directa a las plantas los nutrientes requeridos para su crecimiento. Aunque esto conlleva beneficios inmediatos, no tienen la capacidad de mejorar las propiedades del suelo como lo hacen los fertilizantes orgánicos.

Diversos autores han demostrado que el uso de abono orgánico, en conjunto con una cantidad adecuada de fertilizante mineral, puede aumentar la eficacia de este último, ser rentable y estar en consonancia con los principios de la agricultura sostenible (Macedo *et al.*, 2017). Estas combinaciones, a pesar de contener menos cantidad de nitrógeno, pueden aumentar la eficiencia de los cultivos al mismo tiempo que preservan la fertilidad del suelo y su capacidad de retener nutrientes (Zhu *et al.*, 2023; Nasiroleslami, Mozafari, Sadeghi-Shoae, Habibi y Sani, 2021).

Por otro lado, la presencia excesiva de sargazo (*Sargassum spp*) en las áreas costeras constituye un problema significativo tanto para el medio ambiente como para la salud pública. El sargazo es una macroalga marina que produce diversos compuestos y metabolitos secundarios con diversas aplicaciones. Una manera diferente de utilizar este material biológico es mediante la producción de fertilizantes comerciales. El extracto de sargazo (S) se ha empleado como fertilizante orgánico debido a su contenido de aminoácidos, fenoles, vitaminas, polisacáridos y ácidos grasos. Los cuales contribuyen a incrementar la disponibilidad de macro y micronutrientes para las plantas, así como a mejorar la estructura del suelo (Kocira et al., 2018a; Hernández-Herrera, Santacruz, Briceño, Di Filippo y Hernández, 2018; Bakhoum, Tawfik, Kabesha y Sadak, 2023). La fertilización con extracto de Sargazo mejora el proceso de germinación de las semillas, el crecimiento de las plántulas y de las plantas, lo que aumenta la productividad de los cultivos y la calidad de los productos. (Hernández-Herrera et al., 2018).

Por ejemplo, el empleo del extracto de *Sargassum polycystum* en los cultivos de *Vicia faba* y *Vigna mungo* aumentó el índice de vigor de las plántulas, así como la altura, longitud, peso fresco y seco, contenido de agua, y concentraciones de fenoles y flavonoides, en contraste con los cultivos sin fertilizante (Mohammed et al., 2023). El extracto de *Sargassum vulgare* promovió el aumento de los niveles de germinación, el crecimiento de las raíces, así como el peso fresco y seco de las plántulas de frijol (Latique et al., 2014). La fertilización de frijol con *Sargassum wightii* resultó en una mayor altura de la planta, cantidad de vainas, peso fresco total, peso seco y área foliar (Vijayanand, Sivasangari y Rathinavel, 2014). El uso de los extractos de algas *Kappaphycus alvarezii* y *Gracilaria edulis* en cultivos de frijol, quimobombó y tomate incrementaron la productividad de las plantas (Layek et al., 2023).

Uno de los desafíos ambientales más significativos es encontrar opciones para disminuir el uso de fertilizantes minerales. Aunque estos fertilizantes proveen nutrientes disponibles para las plantas, su utilización excesiva ha provocado la erosión del suelo y la disminución de la biodiversidad. El propósito de este estudio fue analizar la aplicación de tres dosis de fertilización mineral (con urea y super fosfato triple de calcio) aplicados de manera independiente y en combinación con tres dosis de extracto comercial de sargazo, al cultivo de frijol pinto de la variedad San Rafael con el fin de reducir la cantidad de fertilizante mineral sin comprometer el rendimiento ni la calidad nutricional en la producción de frijol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron semillas de frijol pinto variedad San Rafael (SR), un híbrido de los frijoles pintos Bayacora y Saltillo, desarrollado en Guanajuato, México (Acosta-Gallegos, Jiménez, Montero, Guzmán y Anaya, 2016). Como fertilizante orgánico se aplicó extracto comercial de *Sargassum spp.*, marca Algaenzims® (Palau Bioquím., S.A. de C.V.), contiene materia orgánica (de origen algaceo) 4.15%, proteína 4.15%, nitrógeno 14 500 mg L⁻¹ fosforo 750 mg L⁻¹ y potasio 14 800 mg L⁻¹, entre otros macro y microelementos de utilidad en agricultura. Como fertilizante mineral se usaron urea (UR) y superfosfato triple de calcio (STC) en distintas cantidades (Cuadro 1)

Cultivo de Frijol y Diseño Experimental

El estudio se realizó en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), ubicado en Tlaxcala, México, en las coordenadas a 19° 16' 54.5" N, 98° 21' 57.8" O, y a una altitud de 2260 m. Las propiedades del suelo empleado fueron: pH = 7.7, el contenido de materia orgánica fue de 3.68%, 142 mg kg⁻¹ de N-NO₃, 46.5 mg kg⁻¹ de P y 2132 mg kg⁻¹ de K, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de 18.8 meq 100 g⁻¹. Los análisis del suelo se realizaron en la empresa Fertilab. Se hicieron dos ciclos de cultivo, uno de abril a agosto de 2021 y el otro de abril a agosto de 2022, en un invernadero tipo cenital, con paredes de polietileno cal 800, con dimensiones 12 m × 9 m. El establecimiento de cultivo en ambas evaluaciones fue en época primavera-verano, las temperaturas promedio fueron: Tmin: 11.7 °C y Tmax: 26.1 °C (2021) y Tmin: 12 °C y Tmax: 27 °C (2022).

Las semillas de frijol pinto se desinfectaron con NaClO al 5%, posteriormente se enjuagaron con agua destilada y se colocaron en bandejas de germinación a 25 °C durante un periodo de 7 días, las plántulas resultantes se trasplantaron a macetas de plástico con 4 kg de suelo, considerando estas últimas como unidad experimental. El experimento fue un diseño completamente al azar considerando tres concentraciones de fertilización mineral (con urea y super fosfato triple de calcio) y tres concentraciones de fertilización orgánica (Cuadro 1). Las concentraciones de Algaenzims® agregadas a cada maceta fueron: 0.33 mL (S1), 0.66 mL (S2), y 1 mL (S3). Para la fertilización mineral se utilizaron urea (UR) y superfosfato triple (STC) UR(g)/STF(g), las dosis aplicadas por maceta fueron: 0.95/1.357 (M1), 1.075/1.487 (M2) y 1.212/1.625 (M3), equivalentes a 0/0, 35/50, 40/55 y 45/60 kg ha⁻¹ de N Kg ha⁻¹ P; así como todas las combinaciones S/M y como testigo se usó el cultivo sin fertilizar (C-), solo recibió riego. Cada tratamiento se replicó en tres ocasiones (n = 3).

Cuadro 1. Cantidades de fertilizantes (NP) aplicados por maceta en los ciclos de cultivo 2021 y 2022.
Table 1. Amounts of fertilizers (NP) applied per pot during the 2021 and 2022 crop cycles.

Tratamiento	Fertilización orgánica			Fertilización mineral			Total	
	FO mililitros	N ----- mg -----	P	UR/STC g kg ⁻¹	N	P	N	P
C-	0	0	0	0	0	0	0	0
M1	0	0	0	0.950/1.357	437.0	624.2	437.0	624.2
M2	0	0	0	1.075/1.487	494.5	684.0	494.5	684.0
M3	0	0	0	1.212/1.625	557.5	747.5	557.5	747.5
S1	0.33	4.7	4.8	0	0	0	4.7	4.8
S2	0.66	9.5	9.7	0	0	0	9.57	9.7
S3	1.00	14.5	14.8	0	0	0	14.5	14.8
S1/M1	0.33	4.7	4.8	0.950/1.357	437.0	624.2	441.7	629.1
S1/M2	0.33	4.7	4.8	1.075/1.487	494.5	684.0	499.2	688.9
S1/M3	0.33	4.7	4.8	1.212/1.625	557.5	747.5	562.3	752.3
S2/M1	0.66	9.5	9.7	0.950/1.357	437.0	624.2	446.5	633.9
S2/M2	0.66	9.5	9.7	1.075/1.487	494.5	684.0	504.0	693.7
S2/M3	0.66	9.5	9.7	1.212/1.625	557.5	747.5	567.0	757.2
S3/M1	1.00	14.5	14.8	0.950/1.357	437.0	624.2	451.5	639.0
S3/M2	1.00	14.5	14.8	1.075/1.487	494.5	684.0	509.0	698.8
S3/M3	1.00	14.5	14.8	1.212/1.625	557.5	747.5	572.0	762.3

La fertilización mineral se aplicó directamente al suelo, a los 25 días después del trasplante, seguido de riego. Para la fertilización orgánica, el extracto se diluyó en 100 mL de agua, la solución acuosa de extracto de sargazo en ambos ciclos se aplicó 45 días después del trasplante, para el cultivo 2021, ésta se aplicó directamente al suelo y para el ciclo 2022 la fertilización orgánica se aplicó por la mañana mediante aspersión foliar usando un atomizador manual de plástico con capacidad de 500 ml. Los tratamientos evaluados se muestran en Cuadro 1.

La distribución de las unidades experimentales fue de manera aleatoria en el invernadero, con una densidad de 9 macetas por m², para evitar la competencia entre plantas; éstas se regaron cada tres días aplicando un volumen de 400 ml de agua potable por maceta, procurando que durante el desarrollo del cultivo se tuviera un porcentaje de humedad al 80%. El riego se realizó entre 8 y 9 am para minimizar la evapotranspiración.

Rendimiento del Frijol

Para obtener los datos de esta variable, se contabilizaron las vainas de cada planta al final del ciclo de cultivo, cuando la vaina estuvo completamente seca, a los 105 días después del trasplante (ddt) para el ciclo 2021 y a los 144 ddt para el ciclo 2022, se contaron las semillas por tratamiento, posteriormente se pesaron por tratamiento en balanza digital marca VELAB, modelo VE 5000 con sensibilidad de 0.1 g. Se determinó la cantidad de compuestos fenólicos en las semillas mediante la cuantificación del porcentaje de inhibición de DPPH, fenoles totales, flavonoides y antocianinas.

Obtención de Extracto para Cuantificación de Capacidad Antioxidante, Fenoles Flavonoides y Antocianinas

Las semillas cosechadas se desinfectaron con NaClO al 5%, se enjuagaron con agua destilada, se secaron a temperatura ambiente y se procesaron en un molino Hamilton Beach modelo 80 374, la harina se tamizó con una malla número 20. Posteriormente 50 mg de harina de frijol se mezclaron con 1.4 mL de una solución de acetona, agua y ácido acético (en proporción: 70:29.5:0.5) en tubos Eppendorf de 2 mL, la mezcla se agitó una hora a 25 °C en un Thermomixer R Eppendorf, después se centrifugó 15 minutos a 5000 rpm y 15 °C. Se separó la fase acuosa y el residuo se volvió a extraer en las mismas condiciones. Los sobrenadantes resultantes se combinaron (extracto A) y se almacenaron a -20 °C hasta su posterior uso (Kocira *et al.*, 2018a).

Capacidad antioxidante por el método DPPH. Se mezclaron 100 μL del extracto A con 2.9 μL de una solución de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), se dejó la reacción en reposo 30 min a temperatura ambiente en ausencia de luz, posteriormente se midió la absorbancia a 517 nm, se utilizó trolox como referencia. Los resultados fueron presentados en forma de porcentaje de inhibición de DPPH (Kocira *et al.*, 2018a).

Cuantificación de fenoles. Se mezclaron 100 μL de extracto A con 125 μL de reactivo Folin Ciocalteu, después de 5 min se añadieron 250 μL de una solución de Na_2CO_3 . Se dejó la reacción en reposo 30 min, posteriormente se midió la absorbancia a 725 nm, utilizando ácido gálico como estándar (GAE). El contenido total de fenoles se expresó como mg g^{-1} de equivalentes de GAE (Kocira *et al.* 2018a).

Cuantificación de flavonoides. 130 μL del extracto A se mezcló con 70 μL de una solución metanólica de AlCl_3 (2%), se dejó la reacción en reposo en oscuridad a temperatura ambiente por 10 min y se midió la absorbancia a 430 nm. Se utilizó quercetina como estándar. El contenido de flavonoides se expresó como mg g^{-1} de equivalentes de quercetina (QE) (Kocira *et al.* 2018a).

Cuantificación de antocianinas. Se mezclaron 130 μL del extracto A con 70 μL de solución amortiguadora de KCl (0.025 N, pH = 1), se dejó la reacción en reposo en oscuridad durante 15 minutos, a continuación, se midió la absorbancia a 520 nm; se utilizó cianidina-3-glucósido como estándar. Los resultados se expresaron en mg g^{-1} equivalente de cianidina-3-glucósido (C3G) (Kocira *et al.* 2018a).

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos de las unidades experimentales se organizaron por ciclo de cultivo. Los rendimientos totales mostrados son por tratamiento (la suma de las unidades experimentales que conformaron el tratamiento). Para el contenido de antioxidantes, se analizó mediante un análisis de ANOVA y Tukey ($p > 0.05$) con el software de SAS 13.1. (SAS Institute, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos del peso total de semillas, vainas totales y número de semillas totales por tratamiento del primer ciclo de cultivo. Se evidencia que al emplear las fertilizaciones orgánicas S1, S2 y S3, el peso total de las semillas de frijol incrementó 23, 8 y 44% respectivamente, en comparación con el peso obtenido en el testigo sin fertilizante (C-). Con S2 se obtuvo menor peso total de semillas ya que presentó menos vainas que con S1 y S3. Con M1, M2 y M3 estos incrementos fueron del 61, 76 y 104% respectivamente. Con la combinación de fertilizante mineral y sargazo, se lograron resultados superiores en comparación con la aplicación de un solo tipo de fertilización. Se pudo observar que la cantidad de vainas y semillas totales, así como el peso total de estas, fue superior al utilizar todas las combinaciones S/M, lográndose rendimientos más altos que con las fertilizaciones minerales M1, M2 y M3. Al comparar el peso de las semillas obtenidas del cultivo fertilizado con M1 con el peso de las fertilizadas con todas las mezclas S/M, se observó que con estas últimas el incremento en el peso de las semillas estuvo entre 11 y 39%, mientras que al compararlas con las semillas fertilizadas con M2 el incremento con los fertilizantes S/M fue del 1 al 27%. Aunque con M3 aumentó substancialmente el rendimiento con respecto al cultivo no fertilizado, se observó que con las mezclas S2/M2 y S3/M2, el peso de las semillas fue mayor en un 5 y 10%, respectivamente, que las obtenidas con la fertilización M3, debido a los beneficios que tiene la fertilización mixta, ya que se aprovechan los nutrientes que aporta el sargazo. Al utilizar la combinación S1/M2 se obtuvo un peso de semillas similar al de M3. De igual forma, las mezclas de M1 con S mostraron resultados semejantes a los obtenidos únicamente con M: en la combinación S2/M1 el peso fue comparable al de M3, y en S3/M1 resultó solo 7% menor. Con S1/M1, S2/M1 y S3/M3 el peso de las semillas fue 72, 102 y 88% mayor que el de las semillas no fertilizadas. Sin embargo, las combinaciones de la mayor cantidad del fertilizante mineral M3 con sargazo, S1/M3, S2/M3 y S3/M3, no mejoraron significativamente el rendimiento de los cultivos, ya que con las mezclas el incremento en el peso de las semillas osciló entre 0 y 9% respecto a M3.

En el caso de vainas totales (Figura 1b), con todos los tratamientos se obtuvieron más vainas que en las plantas sin fertilizar. El mayor número de vaina se obtuvo en S1/M3, S2/M2 y S3/M3, éstos incluso superaron en 22, 37 y 29% a las obtenidas en M3 y en 117, 143 y 130% comparado con el testigo. Con S1/M1, S2/M3 y S3/M2 el número de vainas totales fue igual que al aplicar la máxima concentración de fertilizante mineral. Para esta variable de rendimiento la aplicación de S1 y S2 no tuvo efecto, ya que el número de vainas fue igual que sin fertilización; sin embargo, la adición de la máxima concentración de extracto de sargazo sin fertilizante mineral (S3) incrementó en 65% respecto al testigo sin fertilizar.

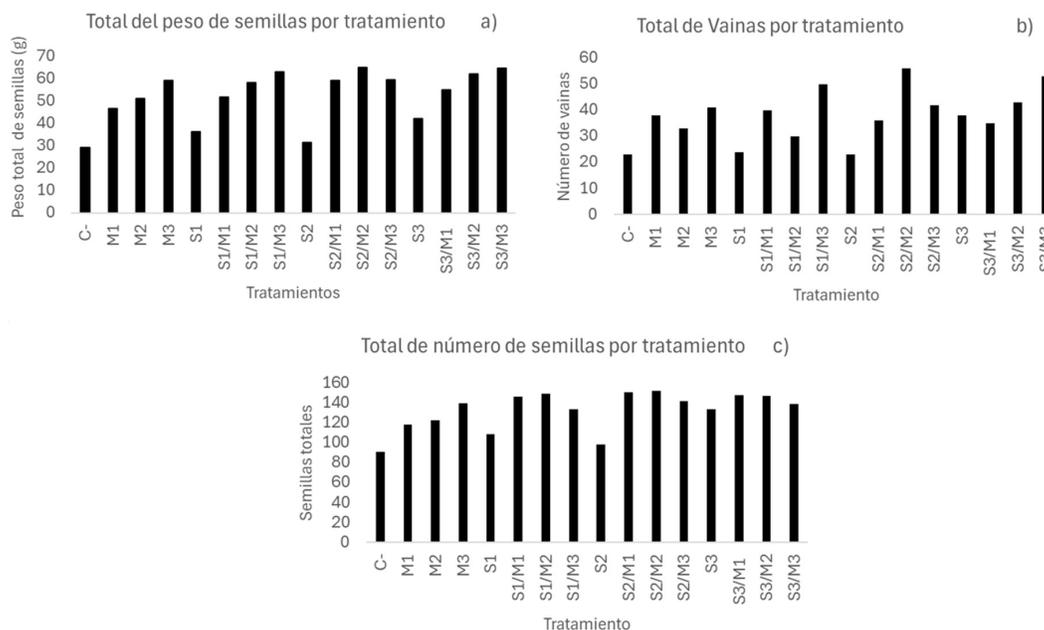


Figura 1. Rendimiento en el ciclo 1: peso total (a), número total de vainas (b) y número total de semillas (c) en plantas fertilizadas con sargazo (S), fertilizante mineral (M) y mezclas S/M.
Figure 1. Yield in cycle 1: total weight (a), total pods (b), and total seeds (c) in plants fertilized with sargassum (S), mineral fertilizer (M), and S/M mixtures.

Para el número de semillas totales (Figura 1c), nuevamente con todos los tratamientos se produjeron más semillas que en las plantas sin fertilizar. En todas las combinaciones de fertilización mixta se contabilizaron más semillas que aplicando únicamente la fertilización orgánica. Excepto para S1/M3, con las demás plantas que se fertilizaron con ambos fertilizantes el orgánico y el mineral, se obtuvieron moderadamente más semillas que donde se aplicó la mayor cantidad de mineral, los incrementos fueron del 1 al 9% respecto a M3.

En el segundo ciclo de cultivo de frijol San Rafael, las plantas fueron afectadas por una plaga de araña roja que tuvo un impacto negativo en su desarrollo, así como en la producción de frijol. Se observó una disminución en la cantidad de vainas, semillas y peso total en comparación con los resultados obtenidos en el primer ciclo (Figura 2). Así como resultados inesperados, como un menor peso y cantidad de semillas obtenidas al utilizar la fertilización M3 comparado con el uso de M1, con el que se obtuvo un mayor rendimiento. La utilización de las combinaciones de fertilizantes S2/M1, S2/M2, S3/M1 y S3/M2 resultó beneficiosa para las plantas, ya que se observó una mayor cantidad y peso de semillas en comparación con los resultados obtenidos mediante la aplicación de fertilizantes minerales. Es posible que la aplicación de extracto de sargazo mediante pulverización foliar haya sido efectiva para reducir los daños ocasionados por la plaga.

Con las fertilizaciones orgánica, mineral o mixta se incrementó el peso total de semillas respecto a C-, excepto para S1/M1 que fue similar (Figura 2a); con el resto de las fertilizaciones mixtas los incrementos fueron entre el 12 y el 72% comparado con el testigo; mientras que usando únicamente el extracto de sargazo los incrementos respecto al testigo fueron entre el 12 y 28%. Con M1 se obtuvo entre los mayores rendimientos, sólo fue superado por S3/M2 (12%) y fue similar a S3/M1.

Con todos los tratamientos se produjeron más vainas que sin fertilización, excepto S3 y S3/M3 que fueron menores (Figura 2b). Los incrementos fueron entre el 26 y 45% empleando únicamente M; de 16% con S2 y 25.6% con S1 y entre el 6 y el 45% con fertilizaciones mixtas. En la comparación del número de vainas obtenidas con la fertilización mineral se observó que la cantidad más alta se obtuvo con M3, esta fue igual a la que se registró con S1/M3, con el resto de los tratamientos se obtuvieron cantidades menores a M3.

En la Figura 2c se puede apreciar que salvo S3, S2/M3 y S3/M3 con los demás tratamientos produjeron más semillas que en las plantas no fertilizadas. Comparando M1, M2 y M3, al igual que en las demás variables de rendimiento del ciclo 2, M1 mostró mayor rendimiento que M2 y M3. Esto indica que en el segundo ciclo el número de semillas fue menor donde se aplicó mayor concentración de fertilizante, ya sea orgánico, mineral o la mezcla de ambos. Con el resto de los tratamientos con fertilización mixta se produjeron entre 6.7 y 19% más que con M1.

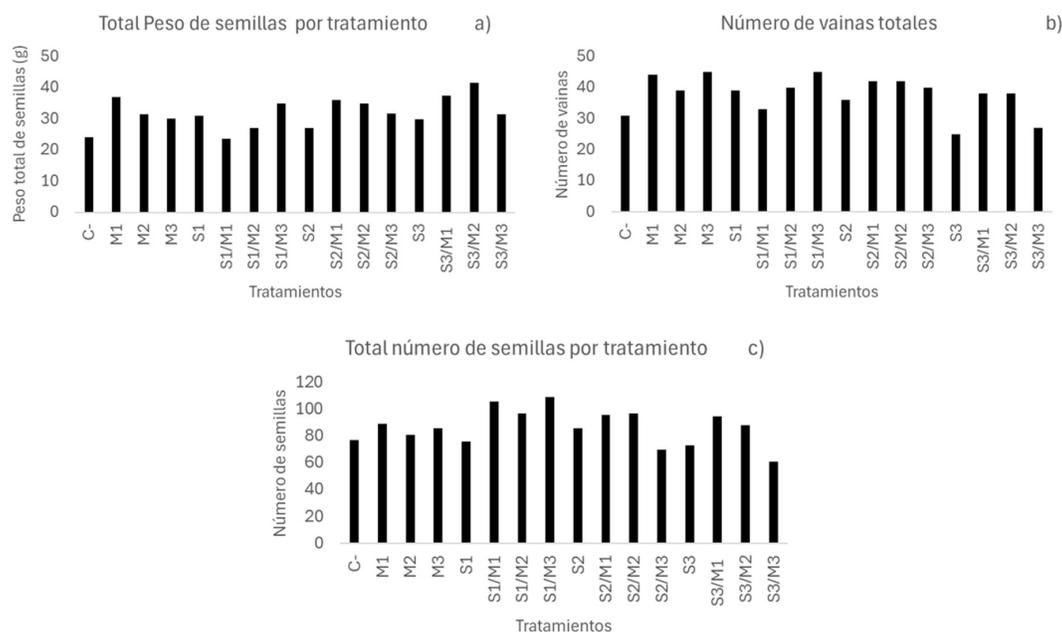


Figura 2. Rendimiento en el ciclo 2: peso total (a), número total de vainas (b) y número total de semillas (c) en plantas fertilizadas con sargazo (S), fertilizante mineral (M) y mezclas S/M.
Figure 2. Yield in cycle 2: total weight (a), total pods (b), and total seeds (c) in plants fertilized with sargassum (S), mineral fertilizer (M), and S/M mixtures.

Se observó que a dosis altas de fertilizante no siempre se obtuvieron los mayores rendimientos y en algunos casos, incluso la respuesta fue mejor a las dosis medias, esto se puede explicar porque se ha reportado que la fertilización mineral excesiva causa salinidad en el suelo, lo que a su vez conduce a una disminución en el número de inflorescencias, menor iniciación de yemas florales, menor cuajado de frutos, reducción de la expansión celular, turgencia y fotosíntesis, y crecimiento limitado (Albornoz y Lieth, 2015). La combinación de fertilizantes orgánicos con fertilizantes minerales dio mejores resultados en rendimiento que con la fertilización mineral, esto se puede explicar porque los extractos de algas estimulan respuestas fisiológicas que promueven el desarrollo, crecimiento y la resistencia a condiciones de estrés en los vegetales, que pueden atribuirse a diferentes factores, incluyendo fitohormonas y flavonoides (Mansori *et al.*, 2015; Bakhom *et al.*, 2023; Afeeza y Dilipan, 2024). Los polisacáridos de las algas aplicados al suelo contribuyen a la formación de geles, la retención de agua y la aireación del suelo; asimismo, facilitan la fijación e intercambio de cationes, lo que tiene efectos beneficiosos sobre las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Du Jardin, 2015).

Diversas investigaciones han demostrado, al igual que con la presente investigación, que la combinación de fertilizante mineral y orgánico ha permitido reducir la cantidad del fertilizante mineral, al mismo tiempo que se mantiene la productividad y calidad de los productos agrícolas. Este efecto positivo de la fertilización mixta orgánica-mineral se puede explicar porque la combinación de extracto de sargazo y fertilizante mineral afectó de manera positiva el crecimiento vegetativo de las plantas de frijol. El extracto de sargazo funciona como bioestimulante debido a su contenido de sustancias que pueden impactar positivamente el crecimiento de la planta y la tolerancia al estrés biótico y abiótico (Macedo *et al.*, 2017). Los extractos de algas contienen elementos traza y hormonas vegetales y altos niveles de materia orgánica y ácidos grasos disponibles para la planta con lo cual se incrementan los rendimientos (Nawar e Ibraheim, 2014); por lo que la aplicación conjunta de extracto de sargazo y el fertilizante mineral ayudó a que las plantas se desempeñaran mejor que con los tratamientos S y M solos. Zhang, Zhao, Li y Zhang (2022) demostraron que el carbono orgánico del suelo, carbono orgánico estable y el carbono orgánico lábil aumentaron al ir sustituyendo el N mineral con diferentes proporciones de estiércol.

Este impacto positivo de la fertilización orgánica-mineral ha sido constatado en cultivos de otras leguminosas, como en un cultivo de soya se evaluaron diversas mezclas de fertilizantes orgánicos y minerales, con la aplicación del 75% de la fertilización mineral más estiércol de vaca y el 75% de la fertilización mineral con estiércol de aves de corral, se obtuvieron rendimientos, vainas, granos por vaina, peso de 100 granos y contenido de proteínas similares a los valores obtenidos que usando 100% de fertilización mineral (Khaim, Chowdhury y Saha, 2013). Nawar e Ibraheim (2014) evaluaron diferentes dosis de fertilización mineral y diferentes dosis de un extracto de

algas en un cultivo de chícharo, reportaron que el uso de 75 y 100% de N combinado con la aplicación foliar de 10 y 15% de extracto de algas maximizó el rendimiento y calidad de las semillas, así como el diámetro de planta y peso de hojas comparado con el uso de los fertilizantes de manera independiente.

Asimismo, la fertilización mixta orgánica mineral ha dado resultados favorables en otros tipos de plantas, por ejemplo, en arroz, la combinación de algas (*Anabaena* sp.) y fertilizante mineral (NPK) proporcionó resultados superiores en comparación con el uso solo de algas, tanto en condiciones de invernadero como en condiciones de campo (Pimratch, Butsat y Kesmla, 2015). En plantas de trigo que experimentaron una insuficiencia hídrica, un extracto de algas y N ejercieron un impacto positivo significativo en la productividad agrícola y ayudó a mitigar los efectos del estrés por sequía, esta mejora en rendimiento y tolerancia al estrés puede atribuirse a la capacidad de las algas para elevar el estado hídrico de las células vegetales (Bakhoun *et al.*, 2023). En un cultivo de maíz se usaron las mezclas de estiércol con fertilizante mineral (NPK), NPK + estiércol de oveja, NPK + estiércol de corral y NPK + estiércol de aves de corral, se observó un incremento del 28.9, 25.5 y 36.8%, respectivamente, en el peso de 1000 granos respecto a la aplicación de NPK (Mahmood *et al.*, 2017).

Contenido de Antioxidantes

En el Cuadro 2 se observa que, tanto en el ciclo 1 como en el 2, ninguna de las fertilizaciones, ya sea con el sorgazo, mineral o las mezclas S/M tuvieron un efecto importante sobre el %DPPH o el contenido de antocianinas de las semillas de frijol, ya que los valores fueron similares en todas las semillas. En el ciclo 1 la producción de fenoles en los frijoles sin fertilizante, así como los fertilizados con S1, S2, M1, M2 fue menor que con M3. Sin embargo, la fertilización de frijol con S3 y las mezclas de S1/M1, S1/M3, S2/M2 y S2/M3 y S3/M1 incrementó la cantidad de fenoles entre 3 y 14.7% con respecto a M3. La cantidad de flavonoides en los frijoles del ciclo 1 fue mayor con todas las fertilizaciones que en los no fertilizados; la mayor concentración se registró en S1, que fue 93% mayor que con M2 y M3. Así mismo, con todas las mezclas S/M, la concentración de flavonoides en las semillas fue mayor que las fertilizadas con M3 (excepto con S1/M3 que fue igual); los incrementos variaron entre el 33 y el 153% respecto a M3. Para el contenido de antocianinas, con M2 y S3/M2 se cuantificaron 41.6 y 8% respectivamente mayores cantidades que en las plantas sin fertilizar, en todos los demás tratamientos fueron iguales o menores al testigo.

Durante el ciclo 2 no se observó una tendencia definida por los fertilizantes en cuanto a la producción de fenoles, posiblemente debido a que la plaga alteró el comportamiento metabólico de la planta. En cuanto a los flavonoides, se observó una mayor producción durante el ciclo 2 que en el ciclo 1, probablemente debido a que los flavonoides funcionan como un mecanismo de defensa de la planta contra plagas. La cantidad de flavonoides en las semillas de S1/M1, S1 y M3 fueron similares a la de las semillas de C-, con el resto de los tratamientos el incremento en la producción de flavonoides fue entre el 16 y 33% mayor que en C-. Es decir, la fertilización promovió la producción de metabolitos que ayudaron a mitigar el efecto dañino de la plaga. Las plantas tienen mecanismos para defenderse de agresiones bióticas, como la síntesis de metabolitos que ayuden a mitigar los daños causados por las plagas. La mayor cantidad de antocianinas se registró en las plantas sin fertilizar (Singh, Kaur y Kariyat, 2021).

Está bien documentado que diferentes grupos de compuestos fenólicos protegen a la mayoría de las especies de plantas contra un amplio rango de insectos, herbívoros y microorganismos (Singh *et al.*, 2021). Wallis y Galarneau (2020) reportaron que el contenido de compuestos fenólicos totales se incrementa cuando las plantas son infectadas con insectos o colonizadas por bacterias u otros microorganismos. La infección con *Phytophthora colocasiae* Raciborski, en tres genotipos de taro (*Colocasia esculenta* L.) ocasionó la acumulación de compuestos fenólicos entre un 11 y un 68% mayor que en plantas no infectadas (Ranjan, Kole, Dasgupta y Mukherjee, 2009). También se reportó un incremento en compuestos fenólicos debido a la presencia de diferentes organismos perjudiciales a las plantas, como en viñedos Cabernet Franc y Cabernet Sauvignon cuando se infectaron con *Grapevine red blotch-associated virus* (Wallis y Sudarshana, 2016).

La mayoría de los estudios sobre frijol se han llevado a cabo para evaluar principalmente el rendimiento y menor cantidad de estudios han investigado la correlación entre la fertilización y la producción de compuestos antioxidantes. En algunos estudios se ha observado un efecto de la fertilización sobre el contenido de antioxidantes, mientras que otros no encontraron una relación. Por ejemplo, Kocira *et al.* (2018a) realizaron un estudio en el que evaluaron la aplicación de *Ecklonia maxima* en dos variedades de frijol, Aura y Toska, la variedad Toska presentó un aumento significativo de fenoles totales, sin embargo, no se observaron diferencias en la variedad Aura y hubo un aumento de antocianinas en ambas variedades. Mansori *et al.*, (2015) encontraron que la aplicación de *Ulva rigida* y *Fucus spiralis* aumentó significativamente el contenido de compuestos fenólicos totales en plantas de frijol, particularmente cuando las plantas fueron expuestas a escasez moderada y severa de agua. Kocira *et al.* (2018a) realizaron la evaluación de un bioestimulante de algas marinas en plantas de soya, y determinaron que el efecto del bioestimulante fue positivo ya que el contenido de compuestos polifenólicos se incrementó.

Cuadro 2. Antioxidantes en las semillas de frijol de plantas fertilizadas con sargazo, fertilizante mineral y sus mezclas S/M.
Table 2. Antioxidants in bean seeds from plants fertilized with sargassum, mineral fertilizer, and S/M mixtures.

Tratamiento	Ciclo 1				Ciclo 2			
	DPPH	fenoles	flavonoides	antocianinas	DPPH	fenoles	flavonoides	antocianinas
	%	mg g ⁻¹			%	mg g ⁻¹		
C-	90.8 a	10.5 abcd	1.3 e	2.4 b	90.2 a	12.2 cdef	3.6 c	3.2 a
M1	91.7 a	8.3 cd	1.5 de	2.2 b	91 a	13.4 bcd	4.5ab	2.2 b
M2	90.8 a	11.06 abcd	1.5 de	3.4 a	89.9 a	12.2 cdef	4.5 ab	2.6 b
M3	90.3 a	11.1 abcd	1.7 cde	2.1 b	90.5 a	10.8 f	3.5 c	2.6 b
S1	91 a	7.9 d	2.9 ab	2.3 b	89.8 a	11.1 ef	3.6 bc	2.3 b
S1/M1	91.6 a	12.6 ab	3.6 a	2.1 b	90.4 a	12.5 cdef	3.6 bc	2.7 b
S1/M2	91.4 a	11.4 abcd	2 cde	2.2 b	90.4 a	13.4 bcd	3.9 bc	3 a
S1/M3	88.8 a	12.4 abc	1.5 de	2.4 b	85.6 a	11.7 def	4.5 ab	2.9 ab
S2	90.1 a	9 bcd	1.4 de	2.3 b	89.7 a	12.1 cdef	4.4 ab	2.9 ab
S2/M1	91.5 a	11.1 abcd	3.8 a	3 b	90.1 a	12.5 cdef	4.3 ab	2 b
S2/M2	89.7 a	12.6 abc	2.3 bcd	2.4 b	90.5 a	12.7 cdef	4.6 a	2.9 ab
S2/M3	91.4 a	12.5 abc	2.9 ab	2.3 b	90.1 a	13.8 abc	4.5 a	2.9 ab
S3	91 a	12.69 ab	2.6 ab	2.4 b	90.9 a	12.5 cde	4.2 ab	2.1 b
S3/M1	91.7 a	13.36 a	3.5 a	2 b	90.1 a	10.5 f	4.3 ab	2.4 b
S3/M2	91 a	11 abcd	2.1 bcd	2.6 b	90.1 a	11.8 def	4.8 a	2.2 b
S3/M3	91 a	11.6 abcd	3.8 a	2.4 b	91.1 a	14.5 a	4.8 a	2.1 b

Letras iguales en columnas indican que no hay diferencia estadística ($p < 0.05$). La notación de los tratamientos está en la tabla 1, donde S corresponde a la fertilización orgánica, M a la fertilización mineral, S/M a las fertilizaciones mixtas y C- es el testigo sin fertilizar.

Means within columns followed by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$). Treatment codes are shown in Table 1, where S represents organic fertilization, M mineral fertilization, S/M mixed fertilization, and C- the unfertilized control.

En su estudio, Mohammed *et al.* (2023) examinaron los efectos de un extracto de *Sargassum polycystum* en las plantas de *Vicia faba* y *Helianthus annuus*, observaron que el extracto aumentó en gran medida los niveles de fenoles y flavonoides en *Vicia faba*, mientras que sólo promovió moderadamente la producción en *Helianthus annuus*.

Se observa que en el ciclo 1 los tratamientos que dieron entre los mayores pesos totales de semillas fueron S2/M2, S3/M2 y S3/M3, atribuible a que también tuvieron mayor número total de semillas y número total de vainas; asimismo, estos tratamientos tuvieron las mayores cantidades de fenoles y flavonoides. En el ciclo 2, los tratamientos donde hubo mayor peso total de semillas fueron S1/M3, S2/M1 y S2/M2, mismos que tuvieron el mayor número de semillas y de vainas; adicionalmente, S2/M1 y S2/M2 también tuvieron alto contenido de flavonoides, pero ninguno de estos reportó entre las mayores cantidades de fenoles, los mayores fueron S2/M3 y S3/M3.

CONCLUSIONES

El extracto de sargazo en combinación con fertilizante mineral demostró un efecto positivo en el cultivo de frijol, ya que mejoró el rendimiento con respecto a las plantas no fertilizadas. Con algunas de las mezclas mixtas orgánica-mineral se obtuvieron rendimientos iguales y en algunos casos mayores que usando la dosis más alta del fertilizante mineral, con lo que se demuestra que es posible reducir las cantidades de fertilizante mineral, con el subsecuente beneficio ambiental. La combinación de extracto de sargazo con urea y triplefostato, aumentó el número de semillas y número de vainas, así como el peso total de las semillas, el tratamiento más eficiente fue el S2/M2 (0.06 mL S + 1.075 g UR + 1.487 g STC). En este estudio ni el tipo de fertilizante ni el método de fertilización tuvieron efecto en %DPPH ni en el contenido de antocianinas, pero si favorecieron la producción de fenoles y flavonoides. Los mejores en ambos ciclos de cultivo fueron S2/M3 (0.06 mL de S + 1.212 g UR + 1.625 g STC) y S3/M3 (1 mL de S + 1.212 g UR + 1.625 g STC)

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Toda la información generada y analizada durante este estudio se incluyen en la presente publicación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses

FINANCIACIÓN

El presente Proyecto fue financiado por las Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional, mediante el proyecto SIP 20220594.

CONTRIBUCION DE LOS AUTORES

Contribuyó en la ejecución de la metodología y recopilación de datos: A.R.S.C. Contribuyó en la conceptualización, escritura del artículo y adquisición de fondos: M.M.S.O. Contribuyó en la escritura, revisión y edición del artículo: A.S.O. Contribuyó en el análisis de datos: R.M.M.C. Contribuyó en la revisión: R.C.C.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado-IPN por el apoyo financiado por el proyecto SIP 20220594. Al CONAHCYT por el otorgamiento de la beca de Doctorado para la primera autora. A la Dra. Guisela Aguilar Benítez por la donación de las semillas usadas en el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J. A., Jiménez-Hernández, Y., Montero-Tavera, V., Guzmán-Maldonado, S. H., & Anaya-López, J. L. (2016). San Rafael, nueva variedad de frijol pinto de reacción neutral al fotoperiodo para el centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 717-722.
- Afeeza, K. L. G., & Dilipan, E. (2024) Enhancing salt stress tolerance in black gram (*Vigna mungo* L.) through the exogenous application of seaweed liquid fertilizer derived from *Sargassum* sp. *Algal Research*, 81, 103588. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103588>
- Albornoz, F., & Lieth, H. (2015) Over fertilization limits lettuce productivity because of osmotic stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 284-290. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000400003>
- Báez-Pérez, A., Limón-Ortega, A., Ramírez-Barrientos, C. E., Ortega-Villalobos, I. A., & Olivares-Arreola, E. A. (2020). Efecto de biofertilizantes y agricultura de conservación en la producción de trigo en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 569-581. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.649>
- Bakhom, G. S., Tawfik, M. M., Kabesh, M. O., & Sadak, M. S. (2023). Potential role of algae extract as a natural stimulating for wheat production under reduced nitrogen fertilizer rates and water deficit. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51, 102794. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102794>
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., & Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, 8(9), 1-9. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- García-Díaz, Y. D., Aquino-Bolaños, E. N., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., & Carrillo-Rodríguez, J. C. (2018). Bioactive compounds and antioxidant activity in the common bean are influenced by cropping season and genotype. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78(2), 255-265. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000200255>
- He, H., Peng, M., Lu, W., Hou, Z., & Li, J. (2022) Commercial organic fertilizer substitution increases wheat yield by improving soil quality. *Science of the Total Environment*, 851(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158132>
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Di Filippo-Herrera, D. A., & Hernández-Carmona, G. (2018) Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28(1), 129-140.

- Khaim, S., Chowdhury, M. A. H., & Saha, B. K. (2013). Organic and inorganic fertilization on the yield and quality of soybean. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 11(1), 23-28. <https://doi.org/10.3329/jbau.v11i1.18199>
- Kocira, A., Świeca, M., Kocira, S., Złotek, U., & Jakubczyk, A. (2018a). Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(3), 563-571. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.039>
- Kocira, S., Szparaga, A., Kocira, A., Czerwińska, E., Wójtowicz, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., ... & Findura, P. (2018b). Modeling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. *Frontiers in Plant Science*, 9, 388. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00388>
- Latique, S., Elouaer, M. A., Souguir, M., Hassen, A., Cherif, H., Halima, Ch., ... & Mimoun, E. (2014). Effect of seaweed extract *Sargassum vulgare* on germination behavior of two bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L) under salt stress. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(2), 116-120. <https://doi.org/10.9790/2380-0721116120>
- Layek, J., Dutta, S. K., Das, A., Ghosh, A., Mishra, V. K., Panwar, A. S., ... & Buragohain, J. (2023). Productivity, quality and profitability enhancement of French bean, okra and tomato with seaweed extract application under North-Eastern Himalayan condition. *Scientia Horticulturae*, 309, 111626. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111626>
- Macedo, S. S., Luz, J. M. Q., Nogueira, P. A. M., Blank, A. F., Sampaio, T. S., Pinto, J. A. O., & Junior, A. W. (2017). Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Journal of Industrial Crops and Products*, 103, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.004>
- Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., ... & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 22-32. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>
- Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2015). Seaweed extract effect on water deficit and antioxidative mechanisms in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Applied Phycology*, 27(4), 1689-1698. <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0455-7>
- Mohammed, S., El-Sheekh, M. M., Hamed A.S., Al-Harbi, M., Elkelish, A., & Nagah, A. (2023) Inductive role of the brown alga *Sargassum polycystum* on growth and biosynthesis of imperative metabolites and antioxidants of two crop plants. *Frontiers Plant Science*, 14, 1136325. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1136325>
- Nasiroleslami, E., Mozafari, H., Sadeghi-Shoae, M., Habibi, D., & Sani, B. (2021). Changes in yield, protein, minerals, and fatty acid profile of wheat (*Triticum aestivum* L.) under fertilizer management involving application of nitrogen, humic acid, and seaweed extract. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(4), 2642-2651. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00552-7>
- Nawar, D. A., & Ibraheim, S. K. A. (2014). Effect of algae extract and nitrogen fertilizer rates on growth and productivity of peas. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(4), 1232-1241.
- Pimratch, S., Butsat, S., & Kesmala, T. (2015). Application of blue-green algae and mineral fertilizers to direct seeding lowland rice. *Science Asia*, 41, 305-314. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.305>
- Ranjan S. M., Kole, P. C., Dasgupta, M., & Mukherjee, A. (2009). Changes in phenolics, polyphenol oxidase and its isoenzyme patterns in relation to resistance in taro against *Phytophthora colocasiae*. *Journal of Phytopathology*, 157(3), 145-153. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01458.x>
- Rivero-Herrada, M., Gutiérrez-Rivero, E., Granados-Rivas, Y. E., & Varas-Maenza, C. C. (2020). Influencia de diferentes sistemas agroecológicos en los indicadores químicos de un suelo cultivado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 735-743. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.558>
- SAS Institute (2014). *SAS/STAT User guide. Release 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola: Frijol*. Consultado el 22 de febrero, 2024, desde <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-3311>
- Singh, S., Kaur, I., & Kariyat, R. (2021). The multifunctional roles of polyphenols in plant-herbivore interactions. *International Journal of Molecular Sciences* 22(3), 1442.
- Vijayanand, N., Ramya, S. S., & Rathinavel, S. (2014). Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 3(2), 150-155. [https://doi.org/10.1016/S2305-0500\(14\)60019-1](https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1)
- Wallis, C. M., & Galarneau, E. R. A. (2020). Phenolic compound induction in plant-microbe and plant-insect interactions: A meta-analysis. *Frontiers Plant Science*, 11, 580753. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.580753>
- Wallis, C. M., & Sudarshana, M. R. (2016). Effects of Grapevine red blotch-associated virus (GRBaV) infection on foliar metabolism of grapevines. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38(3), 358-366. <https://doi.org/10.1080/07060661.2016.1227374>
- Wang, M., Chen, L., Li, Y., Chen, L., Liu, Z., Wang, X., ... & Qin, S. (2018). Responses of soil microbial communities to a short-term application of seaweed fertilizer revealed by deep amplicon sequencing. *Applied Soil Ecology*, 125, 288-296. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.013>
- Zhang, C., Zhao, Z., Li, F., & Zhang, J. (2022). Effects of organic and inorganic fertilization on soil organic carbon and enzymatic activities. *Agronomy*, 12(12), 3125. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123125>
- Zhu, X., Ros, G. H., Xu, M., Cai, Z., Sun, N., Duan, Y., & de Vries, W. (2023). Long-term impacts of mineral and organic fertilizer inputs on nitrogen use efficiency for different cropping systems and site conditions in Southern China. *European Journal of Agronomy* 146, 126797. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126797>