

Ascophyllum nodosum en la Optimización del Rendimiento y Crecimiento del Frijol Común Bajo Déficit Hídrico *Ascophyllum nodosum* in Optimizing Yield and Growth of Common Bean Under Water Deficit

Martín Miguel Sandoval-Bojorquez¹ , Celia Selene Romero-Félix^{1†} ,
Jesús del Rosario Ruelas-Islas¹ , Salomón Buelna-Tarín¹ ,
Mónica Beatriz López-Hernandez² y Cándido Mendoza-Pérez³

¹ Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 s/n y Av. Japaraqui, Juan José Ríos. 81110 Ahome, Sinaloa, México; (M.M.S.B.), (C.S.R.F.), (J.R.R.I.), (S.B.T.).

[†] Autora para correspondencia: celiaromero@uas.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Chiná. Calle 11 s/n entre 22 y 28 km 17. 24520 Chiná, Campeche, México; (M.B.L.H.).

³ Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo. 56230, Texcoco, Estado de México, México; (C.M.P.)

RESUMEN

La sequía durante el periodo de floración puede ocasionar reducciones severas en el rendimiento y sus componentes, así como del crecimiento o acumulación de peso seco en plantas del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). El objetivo de este estudio es determinar el efecto de la aplicación foliar de un bioestimulante comercial basado en el extracto de alga *Ascophyllum nodosum* sobre el rendimiento y sus componentes y el crecimiento de la planta mediante el peso seco acumulado en la variedad de frijol Azufrado Higuera, bajo condiciones de riego y sequía en invernadero. En un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2 (dos niveles de humedad: riego y sequía; dos niveles de aplicación de *A. nodosum* (con y sin aplicación) y cuatro repeticiones. Se evaluó el rendimiento de semilla (RS), biomasa total (BMT), número de vainas normales por planta (VN), semillas normales por planta (SNP), peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST), peso seco de raíz (PSR) y longitud de raíz (LR). El RS y VN fueron 35 y 29% mayores en riego que en sequía. La aplicación de *A. nodosum* solo tuvo efecto en el crecimiento de la raíz, no mostrando efecto en la parte aérea de la planta. En condiciones de riego y sequía con aplicación de *A. nodosum*, el PSR fue mayor, mientras que la LR fue similar bajo esas condiciones.

Palabras clave: bioestimulante, extracto de alga, peso seco, *Phaseolus vulgaris* L., sequía.

SUMMARY

Drought during the flowering period may cause severe reductions in yield and its components, as well as in growth or dry weight accumulation in common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). The objective of the present work is to determine the foliar application effect on a commercial biostimulant based on *Ascophyllum nodosum* extract on yield and its components, as well as plant growth through accumulated dry weight in the Azufrado Higuera bean variety under irrigation and drought conditions in a greenhouse. A randomized complete block design with a 2×2 factorial arrangement was used (two moisture levels: irrigation and drought; and two *A. nodosum* (with and without)) application levels with four replicates. The variables evaluated were seed yield per plant (SYP), total biomass (TBM), number of normal pods per plant (NP), normal seeds per plant (NSP), leaf dry weight (LDW), stem dry



Cita recomendada:

Sandoval-Bojorquez, M. M., Romero-Félix, C. S., Ruelas-Islas, J. R., Buelna-Tarín, S., López-Hernandez, M. B., & Mendoza-Pérez, C. (2025). *Ascophyllum nodosum* en la Optimización del Rendimiento y Crecimiento del Frijol Común Bajo Déficit Hídrico. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-10. e2148. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2148>

Recibido: 31 de octubre de 2024.

Aceptado: 21 de febrero de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Agosto de 2025.

Editor de Sección:

Dra. Elizabeth Urbina-Sánchez

Editor Técnico:

Dr. Marco Antonio Camacho Escobar



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/>).

weight (SDW), root dry weight (RDW), and root length (RL); SY and NP were 35 and 29% higher under irrigation than under drought. The *A. nodosum* application only affected root growth, showing no effect on the plant aerial part. Under both irrigation and drought conditions with *A. nodosum* application, RDW was higher, while RL was similar under these conditions.

Index words: *biostimulant, seaweed extract, dry weight, Phaseolus vulgaris* L., *drought*.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo importante para el consumo humano, ya que es fuente de minerales, proteínas, vitaminas y fibras (Siwakoti, Minhaz y Deka, 2023). A nivel nacional, en el año 2023, el estado de Sinaloa ocupó el cuarto lugar en superficie de siembra y de cosecha, 865 662.28 ha y 87 494.28 ha, respectivamente, con una producción de 172 161.73 toneladas y rendimiento promedio de riego y temporal de 1.97 Mg ha⁻¹, del cual, la superficie en temporal fue de 1 829.10 ha y el rendimiento de 1.44 ha (SIAP, 2023). El cambio climático resulta en que los factores bióticos y abióticos afectan el rendimiento de los cultivos; entre los factores abióticos, se encuentran la sequía, la salinidad y las temperaturas extremas que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, disminuyendo su productividad (El-Nasharty, Rezk y El-Nwehy, 2021). Estos factores provocan pérdidas económicas, desabasto de alimentos y problemas sociales en el sector agrícola (Reyes-García, Vaquera, Rendón y Valdez, 2021). El crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de *P. vulgaris* se ven afectados por el estrés por sequía, y las respuestas a este estrés varían según la especie y el cultivar (Pólania, Chater, Covarrubias y Rao, 2020). Smith *et al.* (2019), en 12 genotipos de frijol, observaron que la sequía redujo el área foliar (50%), el índice de cosecha (60%), el rendimiento (70%), el peso de la semilla (25%) y la concentración de nutrientes minerales y aminoácidos en las hojas. Asimismo, Santillan-Huaman *et al.* (2024) señalan que la sequía con humedad edáfica de 25%, disminuyó parámetros morfológicos en plantas de frijol, tales como la altura de planta (27.29 cm), número de flores por planta (40%), número de vainas por planta (37%) y semillas por vaina (39%); así como características fisiológicas como área foliar (57%), contenido de clorofila (38%), índice estomático (41%) y densidad estomática (49%), con respecto al 100% de riego. Por lo tanto, para reducir o prevenir el daño causado por estrés hídrico, uno de los métodos agroecológicos utilizados es la implementación de actividades agronómicas, como la aplicación de bioestimulantes (Kocira *et al.*, 2020), debido a que normalizan alteraciones moleculares, fisiológicas, bioquímicas y anatómicas de las plantas (Bhupenchandra *et al.*, 2022). Anchondo-Páez *et al.* (2024) utilizando un bioestimulante a base de Silicio, demostraron que, Codasil® a 4 mM redujo la transpiración e incrementó la biomasa total y el rendimiento de frijol ejotero y concluyeron que, la aplicación foliar de NanoSi a 1 mM y Codasil® a 4 mM funcionan como bioestimulante para mejorar el crecimiento y el rendimiento del frijol ejotero.

Un ejemplo de bioestimulante de importancia son los elaborados con base de extractos de algas marinas, utilizadas para estimular los procesos de nutrición de las plantas independientemente del contenido de nutrientes, mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes, la tolerancia al estrés abiótico, la calidad de los cultivos o la disponibilidad de nutrientes (Ricci, Tilbury, Daridon y Sukalac, 2019), ya que contienen micro y macro nutrientes, aminoácidos, materia orgánica, vitaminas, polisacáridos y fitohormonas (Al-Ealayawi y Al-Dulaimy, 2023), las cuales mejoran rendimiento y calidad de los frutos por sus propiedades fitoestimuladoras del crecimiento y los parámetros de rendimiento de las plantas, por contribuir a la resistencia contra estrés abiótico (Tran *et al.*, 2023). En frijol común, se ha observado que los extractos de algas marinas aumentan el número de hojas por planta, área foliar, clorofila total, número de vainas por planta y rendimiento de semilla (Amin, Metwally, Elshinawy y Abdallah, 2020). Una de las algas más estudiadas es el alga parda *Ascophyllum nodosum* debido a sus características antiestrés sobre las plantas; Norrie y Keathley (2006) determinaron que el uso de *A. nodosum* induce en las plantas el desarrollo de betaínas, oligosacáridos, poliaminas, hormonas y citoquininas, las cuales mejoran el rendimiento y la calidad de los frutos. Aunado a esto, los extractos de *A. nodosum* mejoran el crecimiento de las plantas, la tolerancia al estrés y el manejo de enfermedades, ofreciendo una alternativa sostenible a los productos químicos nocivos para la agricultura y la horticultura (Shukla *et al.*, 2019). En distintas especies vegetales, como es el caso del olivo (*Olea europaea* L.), se determinó que el uso de *A. nodosum* tuvo impacto positivo en sequía con respecto a riego, al promover mayor altura de planta (15%), fotosíntesis (34%), acumulación de carbohidratos y eficiencia en el uso del agua (Dias *et al.*, 2024); en el cultivo de frijol común bajo condiciones de déficit hídrico, esta alga ha sido identificada como un elicitador, al inducir un incremento en el contenido de prolina en las plantas tratadas comparadas con el control (Carvalho, Castro, Gaziola y Azevedo, 2018).

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación foliar de un bioestimulante comercial con base del extracto de alga *A. nodosum* sobre el rendimiento y sus componentes, y el crecimiento de la planta mediante el peso seco acumulado en la variedad de frijol Azufrado Higuera, bajo condiciones de riego y sequía en invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno 2022, en invernadero de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte, de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en la sindicatura de Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa (25° 45' 20.88" N y 108° 50' 22.16" O). El área experimental se localiza a 14 m de altitud.

Siembra y Material Vegetal

El material vegetal utilizado fue la variedad de frijol común Azufrado Higuera, la cual es producto de la cruce entre Canario DIVEX 8130 y Royal Red realizada en 1981 en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la F2 fue introducida en 1982 al Campo Experimental Valle del Fuerte donde se continuó con las cruces para lograr su establecimiento en la región del Valle del Fuerte, Sinaloa, México (Salinas-Pérez, Rodríguez, Navarro y Padilla, 1995). Esta variedad se caracteriza por su adaptación en las áreas de riego, así como también alcanza niveles de producción aceptables bajo condiciones de humedad residual, obteniendo los rendimientos más altos en el norte de Sinaloa (Salinas-Pérez, Rodríguez, Navarro y Padilla, 1995).

La siembra se realizó el 07 de noviembre del 2022 en charolas de 242 cavidades, utilizando como sustrato Peet most de la marca PROMIX®. Mientras que el trasplante de las plántulas se llevó a cabo a los 14 días después de la siembra (dds) en bolsas de polietileno con capacidad de 7 kg. Las bolsas se llenaron con un suelo clasificado como franco-arenoso (67% arena, 14% limo y 18% arcilla), contenido de MO de 1.08%, ρ_b de 1.16 g cm⁻³, CE de 7.74 dS m⁻¹, pH de 8.29, capacidad de campo (CC) de 21% y porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 13%. Cabe mencionar que el sustrato y las semillas no fueron desinfectados de manera previa.

Diseño Experimental y Tratamientos de Humedad Edáfica

Se utilizó diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2, dos niveles de humedad [NH; riego y sequía agrícola (Wang, Li, Zhao, Hou y Dong, 2024)] y dos niveles de aplicación de un bioestimulante comercial (con y sin aplicación foliar), formulado a base del extracto de alga *A. nodosum* (99.59%), N (0.10%), P₂O₅ (0.05%) y K₂O (0.26%). Se manejaron cuatro repeticiones, la unidad experimental consistió en cinco bolsas con una planta individual por bolsa. El bioestimulante se aplicó vía foliar, al iniciar la etapa de floración (40 dds), se empleó dosis de 5 mL L⁻¹. La forma de aplicación y dosis empleadas fueron las recomendadas por el fabricante del producto.

La aplicación del tratamiento bioestimulante se hizo de manera semanal, realizando en total cuatro aplicaciones (una aplicación por semana) a partir de la etapa de floración (40 dds), misma etapa en la cual iniciaron los tratamientos de niveles de humedad. Los tratamientos de humedad edáfica se efectuaron dos veces por semana, para lo cual las bolsas se llevaron a capacidad de campo (CC), tomando en cuenta el peso de la bolsa como su peso inicial a CC (PICC; 8.550 kg) como referencia para llevar a cabo los riegos subsecuentes durante el ciclo de crecimiento de las plantas y dar seguimiento a los pesos y cantidad de agua a regar. Cada cuatro días se determinó la cantidad de agua perdida por medio del pesaje de las bolsas, con la finalidad de agregar el agua requerida, para llevar el suelo de cada bolsa al PICC y mantener el nivel de humedad cercano a CC desde la siembra hasta la madurez fisiológica de las plantas, esto solamente en el tratamiento de riego, ya que en sequía los riegos se suspendieron desde inicio de floración (40 dds) hasta madurez fisiológica y únicamente se registró el peso de la bolsa sin aplicar agua.

A 67 dds se hizo aplicación de un fertilizante foliar (Lifer-Plus®), formulado con base de aminoácidos (2%), N (11.2%), P₂O₅ (9.84%), K₂O (2.55%), Fe (9100 mg L⁻¹), Mn (678 mg L⁻¹), Cu (75 mg L⁻¹), Zn (6400 mg L⁻¹) y B (240 mg L⁻¹), a todas las plantas, tanto de riego como de sequía, con la finalidad de evitar deficiencias nutrimentales. Se realizaron tres aplicaciones de abamectina (dosis 0.15 mL L⁻¹) para el control de plagas como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y trips (*Caliothrips phaseoli*) a 44 dds, 58 dds y 72 días después de la siembra.

Variables Evaluadas

El rendimiento de semilla por planta (RS, g), se determinó al pesar todas las semillas normales producidas por la planta; para la biomasa total (BMT, g), se sumó la materia seca presente en la parte aérea de la planta (órganos vegetativos: peciolas, folíolos y ramas, y reproductores: botones, flores y vainas) y la raíz en la madurez fisiológica; el número de vainas normales por planta (VN), se contó el número total de vainas normales en cada planta

individual, al considerar como vaina normal aquella que tenía al menos una semilla normal con el tamaño y color característico de cada genotipo; semillas normales por planta (SNP): se contó el número de semillas normales producidas en las vainas normales en cada planta individual; el peso seco de hoja (PSH, g), peso seco de tallo (PST, g) y peso seco de raíz (PSR, g) se obtuvieron pesando los respectivos órganos de la planta en la madurez fisiológica, utilizando balanza digital Ohaus®. Los pesos secos se evaluaron después de someter las muestras a 60 °C en estufa de secado marca Riosa® durante 72 h, hasta peso seco constante; y la longitud de raíz (LR, cm) se determinó en la madurez fisiológica, con regla graduada.

Análisis Estadístico

Se utilizó diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2×2 con cuatro repeticiones y unidad experimental de cinco macetas por repetición. Los datos obtenidos de cada variable cumplieron con el supuesto de normalidad (Shapiro y Wilk 1985). Se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Se usó el software estadístico InfoStat versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020) para todos los procedimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sequía inició a los 40 dds, condición en la cual la humedad del suelo empezó a descender a partir de los 60 dds, disminuyendo 13% el peso del suelo contenido en las bolsas a los 95 dds, con respecto al PICC (Figura 1).

El análisis de varianza detectó diferencias ($P < 0.05$) entre niveles de H para RS y SNP; para niveles de aplicación de A para PSR y LR; mientras que en la interacción H*A, se observó efecto significativo para PSR y LR. No se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre NH para la BMT, VN, PSH, PST, PSR y LR; entre niveles de aplicación de A no hubo diferencias ($P > 0.05$) para RS, BMT, VN, SNP, PSH y PST; y para la interacción H*A para RS, BMT, VN, SNP, PSH y PST (Cuadro 1).

Niveles de Humedad

El RS y SNP fueron 35% y 29% mayores en riego que en sequía (Cuadro 2). En estudios previos, también se ha observado una tendencia similar en el RS de frijol; Romero-Félix *et al.* (2021) determinaron mayor rendimiento de semilla en 12 genotipos de frijol en condiciones de riego que en sequía. Por su parte, Kimani, Kumar, Harit y Kumar (2022) también observaron mayor RS en riego que en sequía (donde el contenido de humedad edáfica estuvo por debajo del 10%).

Cabe mencionar que los tratamientos de humedad iniciaron desde la etapa de inicio de floración (40 dds) hasta la madurez fisiológica (98 dds), etapa considerada como la más susceptible a sequía (Wasae, 2021).

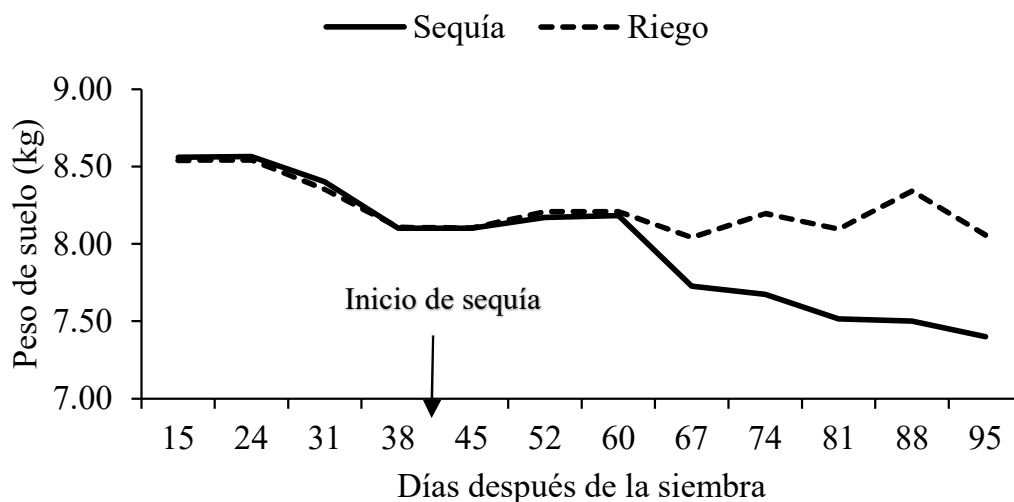


Figura 1. Comportamiento del peso del suelo contenido en las bolsas, en condiciones de riego y sequía.
Figure 1. Soil weight behavior in bags under irrigation and drought conditions.

Cuadro 1. Análisis de varianza para rendimiento de semilla, sus componentes y peso seco acumulado de la variedad de frijol Azufrado Higuera, 98 días después de la siembra.**Table 1. Analysis of variance for seed yield, its components and accumulated dry weight of the Azufrado Higuera bean variety, 98 days after sowing.**

FV	GL	RS	BMT	VN	SNP	PSH	PST	PSR	LR
Repetición	3	0.09	1.06	0.21	0.76	0.25	0.04	0.07	1.01
Humedad (H)	1	3.08*	3.12	0.20	14.94*	0.06	0.01	0.10	0.29
Alga (A)	1	0.13	0.31	0.30	2.15	0.05	0.001	0.22*	6.30**
H*A	1	0.59	4.92	0.12	5.13	0.24	0.10	0.41**	4.04*
CV (%)		34.33	18.96	34.61	25.21	20.21	21.40	15.10	1.98

*, **Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; RS = rendimiento de semilla por planta (g); BMT = biomasa total (g); VN = número de vainas normales por planta; SNP = semillas normales por planta; PSH = peso seco de hoja (g); PST = peso seco de tallo (g); PSR = peso seco de raíz (g); LR = longitud de raíz (cm); CV = coeficiente de variación.

*, **Significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; SV = source of variation; DF = degrees of freedom; SYP = seed yield per plant (g); TBM = total biomass (g); NP = number of normal pods per plant; NSP = normal seeds per plant; LDW = leaf dry weight (g); SDW = stem dry weight (g); RDW = root dry weight (g); RL = root length (cm); CV = coefficient of variation.

Al respecto, González-Lemes *et al.* (2022) consideran que la merma en el rendimiento de semilla se debe a períodos prolongados de sequía durante la etapa reproductiva del desarrollo de las plantas de frijol común, lo que conduce a menor asimilación de CO₂, reducción de la fotosíntesis y caída de la actividad de las enzimas del ciclo de Calvin (Dias y Brüggemann, 2010), lo cual se ve reflejado en descenso del rendimiento y algunos de sus componentes. Por otro lado, Domínguez, Rodríguez, Dávalos, Castillo y Sosa (2021) mencionan que el rendimiento de semilla puede disminuir por efecto de la sequía. Sin embargo, depende de la intensidad del estrés por sequía, del tiempo de exposición de las plantas al estrés (González-Lemes *et al.*, 2022) y también del genotipo (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2023).

La BMT, el número de VN, LR, PSH, PST y PSR fueron iguales tanto en riego como en sequía (Cuadro 2). Contrario a estos resultados, en estudios previos se determinó que la sequía tuvo efecto significativo sobre estos caracteres; Romero-Félix *et al.* (2021) encontraron menor cantidad de biomasa aérea y menor número de vainas normales en sequía que en riego en condiciones de invernadero, mientras que Zhou *et al.* (2018) y Hernández-Figueroa *et al.* (2022) evaluaron valores altos en PSR y LR en sequía con respecto a riego. Polania *et al.* (2017) señalan que la resistencia a la sequía en frijol se asocia positivamente con un sistema radicular más profundo y vigoroso, un mejor crecimiento de los brotes y movilización superior de los fotosintatos para la producción de vainas y semillas. Aunque, en este estudio los niveles de humedad no tuvieron efecto significativo sobre la producción de vainas y biomasa aérea acumulada.

Cuadro 2. Promedio de rendimiento de semilla, sus componentes y peso seco acumulado de la variedad de frijol Azufrado Higuera en condiciones de riego y sequía en invernadero, 98 días después de la siembra.**Table 2. Average seed yield, its components and accumulated dry weight of the Azufrado Higuera bean variety under irrigation and drought conditions in greenhouse, 98 days after sowing.**

Humedad	RS	BMT	VN	SNP	PSH	PST	PSR	LR
Riego	2.54 a	6.86 a	2.45 a	6.73 a	2.08 a	1.13 a	1.27 a	39.25 a
Sequía	1.66 b	5.97 a	2.23 a	4.80 b	1.95 a	1.09 a	1.11 a	38.98 a
Tukey ($P \leq 0.05$)	0.81	1.37	0.92	0.63	0.46	0.27	0.2	0.87

RS = rendimiento de semilla por planta (g); BMT = biomasa total (g); VN = número de vainas normales por planta; SNP = semillas normales por planta; PSH = peso seco de hoja (g); PST = peso seco de tallo (g); PSR = peso seco de raíz (g); LR = longitud de raíz (cm). a, b Valores medios por columna con letra distinta son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

SYP = seed yield per plant (g); TBM = total biomass (g); NP = number of normal pods per plant; NSP = normal seeds per plant; LDW = leaf dry weight (g); SDW = stem dry weight (g); RDW = root dry weight (g); RL = root length (cm). a, b Mean values per column with different letter are statistically different ($P \leq 0.05$).

Aplicación del alga *Ascophyllum nodosum*

Los extractos de algas marinas como biofertilizantes son materiales naturales que incrementan crecimiento, rendimiento y mejora la calidad de los cultivos (Zermeño-González *et al.*, 2015). Sin embargo, en el presente trabajo, la aplicación del alga *A. nodosum* no tuvo efecto significativo en rendimiento y sus componentes, ni en BMT, PSH y PST (Cuadro 3).

No obstante, en otros trabajos de investigación se ha determinado que al realizar aplicaciones foliares de *A. nodosum* en frijol chino (*Vigna unguiculata*), se tuvo mayor rendimiento de semilla y número de vainas por m², y en maíz se observó mayor rendimiento de grano y peso de mazorca, al aplicar *A. nodosum*, en comparación con el testigo (Apáez-Barrios, Lara, Apáez y Raya, 2023). Łangowski *et al.* (2021) observaron incremento en el rendimiento de dos variedades de soya, al realizar aplicaciones del extracto de *A. nodosum* en condiciones de campo. Aunado a esto, Shukla *et al.* (2019) indican que las aplicaciones de extractos de *A. nodosum* mejoran el crecimiento y la productividad de los cultivos a través de diversos modos de acción, lo cual difiere con los resultados obtenidos en este estudio al no mostrar efecto significativo en el rendimiento y sus componentes, así como en el peso seco acumulado en el vástago de la planta.

Únicamente, en PSR y LR se detectaron diferencias entre los niveles de aplicación del bioestimulante a base del alga *A. nodosum*, donde fueron 18 y 3% mayores con la aplicación de *A. nodosum* que sin su aplicación, respectivamente (Cuadro 3). Al respecto, Ertani *et al.* (2018) también observaron mayor eficiencia en la promoción de los rasgos morfológicos de la raíz y mayor elongación de raíces de plantas de maíz (*Zea mays* L.) al realizar aplicaciones de un bioestimulante a base del extracto del alga *A. nodosum*. Esta forma de acción del alga *A. nodosum* se debe a que ésta puede mejorar la interacción entre las raíces y los microorganismos del suelo, lo que a su vez puede aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes. Los compuestos bioactivos presentes en *A. nodosum* pueden estimular la formación de raíces por estar relacionados con la regulación de la biosíntesis de fitohormonas, las cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo de un sistema radicular más robusto (Shukla *et al.*, 2019).

Interacción Humedad vs. Aplicación del Alga *Ascophyllum nodosum*

No se observó efecto significativo ($P > 0.05$) en la interacción niveles de humedad por aplicación de *A. nodosum* para RS (Figura 2A), BMT (Figura 2B), número de VN (Figura 2C) y SNP (Figura 2D). No obstante, estos caracteres mostraron mayores valores en condiciones de riego y sequía con aplicación de *A. nodosum* que sin su aplicación en riego y sequía, lo cual da pauta para indicar que los productos bioestimulantes, en este caso el alga *A. nodosum*, juegan importante papel en la mejora de la salud de las plantas, tanto en condiciones de estrés y sin estrés (Anand, Eswaran y Ghosh, 2018) y son aptos para incrementar la tolerancia al estrés (Dalal *et al.*, 2019).

Los niveles de humedad en interacción con los niveles de aplicación de *A. nodosum* no tuvieron efecto ($P > 0.05$) sobre los valores medios de PSH (Figura 3A) y PST (Figura 3B), solo hubo efecto para el crecimiento en PSR (Figura 3C) y LR (Figura 3D).

Cuadro 3. Promedio del rendimiento de semilla, sus componentes y peso seco acumulado de la variedad de frijol Azufrado Higuera con y sin aplicación del bioestimulante con base del alga *Ascophyllum nodosum*, en invernadero, 98 días después de la siembra.
Table 3. Average seed yield, its components and accumulated dry weight of the Azufrado Higuera bean variety with and without application of the *Ascophyllum nodosum*-based biostimulant in a greenhouse, 98 days after sowing.

Alga	RS	BMT	VN	SNP	PSH	PST	PSR	LR
Con	2.19 a	6.55 a	2.48 a	6.13 a	2.07 a	1.12 a	1.31 a	39.74 a
Sin	2.01 a	6.28 a	2.20 a	5.40 a	1.96 a	1.10 a	1.07 b	38.49 b
Tukey ($P \leq 0.05$)	0.81	1.37	0.917	0.63	0.46	0.26	0.20	0.87

RS = rendimiento de semilla por planta (g); BMT = biomasa total (g); VN = número de vainas normales por planta; SNP = semillas normales por planta; PSH = peso seco de hoja (g); PST = peso seco de tallo (g); PSR = peso seco de raíz (g); LR = longitud de raíz (cm). a, b Valores medios por columna con letra distinta son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

SYP = seed yield per plant (g); TBM = total biomass (g); NP = number of normal pods per plant; NSP = normal seeds per plant; LDW = leaf dry weight (g); SDW = stem dry weight (g); RDW = root dry weight (g); RL = root length (cm). a, b Mean values per column with different letter are statistically different ($P \leq 0.05$).

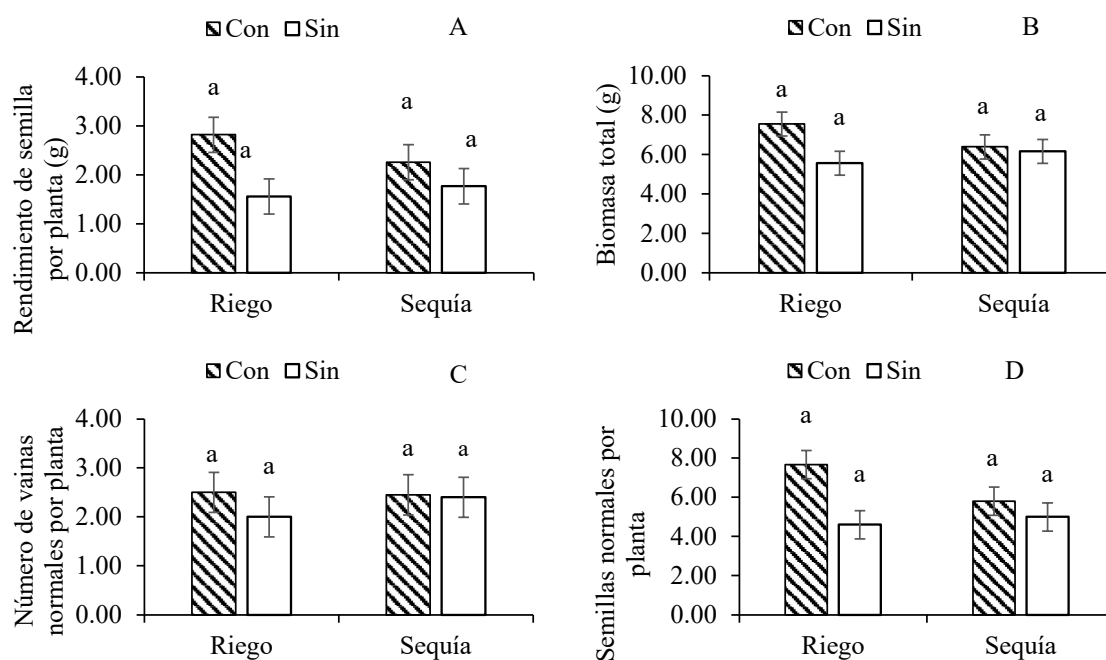


Figura 2. Interacción niveles de humedad (riego y sequía) por niveles de aplicación del alga *Ascophyllum nodosum* (con y sin aplicación). (A) Rendimiento de semilla por planta; (B) biomasa total; (C) número de vainas normales por planta; (D) número de semillas normales por planta, 98 dds. Ciclo otoño-invierno 2022-2023, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa. Las barras representan el error estándar de la media.

Figure 2. Interaction of moisture levels (irrigation and drought) by application levels of *Ascophyllum nodosum* algae (with and without application). (A) Seed yield per plant; (B) total biomass; (C) number of normal pods per plant; (D) number of normal seeds per plant. Fall-Winter cycle 2022-2023, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, 98 days after sowing. Bars represent standard error of the mean.

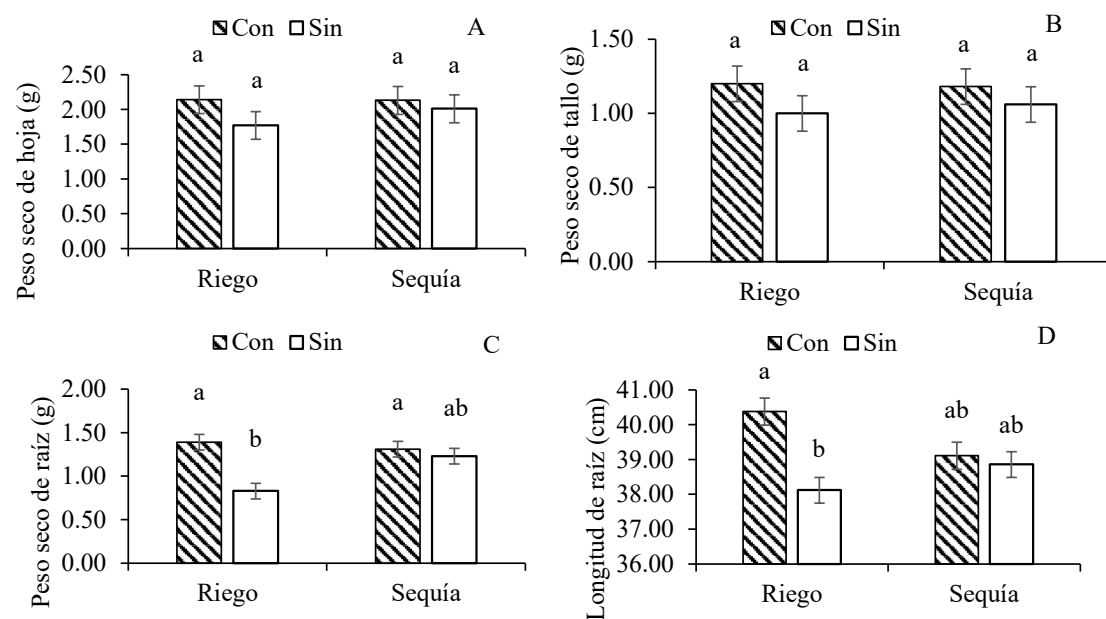


Figura 3. Interacción niveles de humedad (riego y sequía) por niveles de aplicación del alga *Ascophyllum nodosum* (con y sin aplicación). (A) peso seco de hoja; (B) peso seco de tallo; (C) peso seco de raíz; (D) longitud de raíz. Ciclo otoño-invierno 2022-2023. Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, 98 dds. Las barras representan el error estándar de la media.

Figure 3. Interaction of moisture levels (irrigation and drought) by application levels of *Ascophyllum nodosum* algae (with and without application). (A) Leaf dry weight; (B) stem dry weight; (C) root dry weight; (D) root length. Fall-Winter cycle 2022-2023, Juan José Ríos, Ahome, Sinaloa, 98 days after sowing. Bars represent standard error of the mean.

Cabe destacar que el peso seco acumulado en la raíz fue igual en condiciones de riego y sequía con la aplicación del alga, lo cual refleja el efecto positivo que tuvo el extracto del alga *A. nodosum* en el crecimiento de la raíz en sequía. Tinte *et al.* (2022) mencionan que los bioestimulantes con base de extractos de algas marinas alteran el metabolismo de las plantas, lo que favorece los rasgos de resistencia a la sequía, como el crecimiento de las raíces, y como consecuencia, la mejora de la absorción de agua y nutrientes. Krasensky y Jonak (2012), indican que las plantas reaccionan al estrés por sequía a través de distintas respuestas morfo-fisiológicas para mitigar el daño que el estrés pudiera ocasionar en el crecimiento y desarrollo de la planta y en el rendimiento, siendo un ejemplo claro el crecimiento de la raíz observado en este estudio. Además, la aplicación de *A. nodosum* mejora la tolerancia a sequía mediante la regulación de genes de respuesta al estrés, dando lugar a un mejor crecimiento en condiciones de sequía, mayor conductancia estomática (Shukla *et al.*, 2017) y mayor crecimiento de raíces (Romero-Félix *et al.*, 2021). Por el contrario, Shakya *et al.* (2023) no observaron efecto en la interacción niveles de humedad por aplicación del alga *A. nodosum* en el crecimiento de raíces de plantas de fresa en condiciones de sequía considerada como leve (50 % de humedad a capacidad de campo).

CONCLUSIONES

La aplicación del alga *Ascophyllum nodosum* sólo tuvo efecto sobre el crecimiento en peso seco de raíz y longitud de la misma, siendo mayores cuando se aplicó el alga que sin aplicación. Los niveles de humedad tuvieron efecto en el rendimiento de semilla y número de semillas normales por planta, donde en riego fueron mayores que en sequía.

El peso seco de raíz fue mayor en condiciones de riego y sequía con aplicación de *Ascophyllum nodosum*, mientras que la longitud de raíz fue similar bajo esas condiciones.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles para el autor de correspondencia si se solicita.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Escritura del manuscrito original C.S.R.F. Análisis de datos: J.D.R.R.I. Revisión y edición: M.M.S.B. y S.B.T. Visualización: C.M.P. y M.B.L.H.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Al-Ealayawi, Z. A., & Al-Dulaimy, A. F. Z. (2023). Marine algae and applications to plant nutrition: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158, 042004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042004>
- Amin, M., Metwally, H., Elshinawy, M., & Abdallah, M. (2020). effect of seaweed extract and biofertilizer on organic production of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 28, 265-273. <https://doi.org/10.21608/ajs.2020.24507.1173>
- Anand, K.V., Eswaran, K., & Ghosh, A. (2018). Life cycle impact assessment of a seaweed product obtained from *Gracilaria edulis*-A potent plant biostimulant. *Journal Cleaner Production*, 170, 1621-1627. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.241>
- Anchondo-Páez, J. C., Sánchez-Chávez, E., Ramirez-Estrada, C. A., Salcido-Martínez, A., Ochoa-Chaparro, E. H., & Muñoz-Márquez, E. (2024). Eficacia de Nanopartículas de Silicio y Codasil® como Potenciales Bioestimulantes en Frijol Ejotero. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-10. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1885>
- Apáez-Barrios, P., Lara-Chávez, M. B. N., Apáez-Barrios, M., & Raya-Montaño, Y. A. (2023). Aplicación foliar de *Ascophyllum nodosum* y tierra de diatomeas en la producción de frijol chino y maíz. *e-CUCBA*, 20, 103-113. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.302>
- Bhupenchandra, I., Chongtham, S. K., Devi, E. L., R. R., Choudhary, A. K., Salam, M. D., ... & Khaba, C. I. (2022). Role of biostimulants in mitigating the effects of climate change on crop performance. *Frontiers in Plant Science*, 13, 967665. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.967665>
- Carvalho, M., Castro, P., Gaziola, S., & Azevedo, R. (2018). Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. *Comunicata Scientiae*, 9(2), 292-297. <https://doi.org/10.14295/CS.V9I2.2134>
- Dalal, A., Bourstein, R., Haish, N., Shenhar, I., Wallach, R., & Moshelion, M. (2019). Dynamic physiological phenotyping of drought-stressed pepper plants treated with 'productivity-enhancing' and 'survivability-enhancing' biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 905(10), 2-3. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00905>
- Dias, M., & Brüggemann, W. (2010). Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. *Photosynthetica*, 48(1), 96-102. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0013-8>
- Dias, M. C., Figueiras, R., Sousa, M., Araújo, M., de Oliveira, J. M. P. F., Pinto, D. C., ... & Santos, C. (2024). *Ascophyllum nodosum* Extract Improves Olive Performance Under Water Deficit Through the Modulation of Molecular and Physiological Processes. *Plants*, 13(20), 2908. <https://doi.org/10.3390/plants13202908>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020. software estadístico*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Domínguez, A., Rodríguez, R., Dávalos, Y., Castillo, M., & Sosa, D. (2021). Selection of varieties of common red bean (*Phaseolus vulgaris* L.), tolerant to drought in different irrigation conditions in the field. *Bionatura*, 6(1), 1473-1477.
- El-Nasharty, A. B., Rezk, A. I., & El-Nwehy, S. S. (2021). Amino acids and its role in plant nutrition and crop production. A review. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 11, 400-413. <https://doi.org/10.36632/mejas/2021.11.2.32>
- Ertani, A., Francioso, O., Tinti, A., Schiavon, M., Pizzeghello, D., & Nardi, S. (2018). Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Frontiers in Plant Science*, 9, 428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00428>
- González-Lemes, I., Acosta-Maspons, A., Cetz-Chel, J., Polanía, J., Acosta-Gallegos, J., Herrera-Estrella, A., & Covarrubias, A. (2022). Carbon concentration mechanisms in pods are key elements for resistance to terminal drought in *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Experimental Botany*, 74(5), 1642-1658. <https://doi.org/10.1093/jxb/erac504>
- Hernández-Figueroa, K. I., Sánchez-Chávez, E., Ojeda-Barrios, D. L., Chávez-Mendoza, C., Muñoz-Márquez, E., & Palacio-Márquez, A. (2022). Efectividad a la aplicación de bioestimulantes en frijol ejotero bajo estrés hídrico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 149-160.
- Kimani, P. N., Kumar, S. N., Harit, R., & Kumar, Y. (2022). Interactive effect of irrigation and temperature regimes on growth and development of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agrometeorology*, 24(2), 196-199. <https://doi.org/10.54386/jam.v24i2.1637>
- Kocira, S., Szparaga, A., Hara, P., Treder, K., Findura, P., Bartoš, P., & Filip, M. (2020). Biochemical and economical effect of application biostimulants containing seaweed extracts and amino acids as an element of agroecological management of bean cultivation. *Scientific Reports*, 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74959-0>
- Krasensky, J., & Jonak, C. (2012). Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. *Journal of Experimental Botany*, 63(4), 1593-608. <https://doi.org/10.1093/jxb/err460>
- Łangowski, Ł., Goñi, O., Marques, F. S., Hamawaki, O. T., Da Silva, C. O., Nogueira, A. P. O., ... & O'Connell, S. (2021). *Ascophyllum nodosum* extract (sealicit™) boosts soybean yield through reduction of pod shattering-related seed loss and enhanced seed production. *Frontiers in Plant Science*, 12, 631768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.631768>
- Norrie, J., & Keathley, J. P. (2006). Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'thompson seedless' grape production. *Acta Horticulturae*, 727, 243-248. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.727.27>
- Polanía, J., Rao, I. M., Cajiao, C., Grajales, M., Rivera, M., Velasquez, F., ... & Beebe, S. E. (2017). Shoot and root traits contribute to drought resistance in recombinant inbred lines of MD 23-24 x Sea 5 of common bean. *Frontiers in Plant Science*, 8, 296. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00296>
- Pólania, J. A., Chater, C. C. C., Covarrubias, A. A., & Rao, I. M. (2020). *Phaseolus* species responses and tolerance to drought. En M. Hasanuzzaman, S. Araújo & S. S. Gill (Eds.). *The Plant Family Fabaceae: Biology and physiological responses to environmental stresses* (pp. 319-336). Singapur: Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_12
- Reyes-García, O., Vaquera-Huerta, H., Rendón-Sánchez, G., & Valdez-Lazalde, J. R. (2021). Estimación del riesgo de ocurrencia de heladas aplicando teoría de valores extremos. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 12(6), 328-362. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-08>
- Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., & Sukalac, K. (2019). General principles to justify plant biostimulant claims. *Frontiers in Plant Science*, 10, 494. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00494>
- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., & Aguilar-Rincón, V. H. (2021). Variabilidad en características morfo-fisiológicas del frijol común bajo sequía terminal. *Agrociencia*, 55, 471-485. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i6.2554>
- Ruiz-Sánchez, M., Muñoz-Hernández, Y., Rodríguez-Pérez, R., Santana-Baños, Y., Mesa-Sotolongo, S., Encalada-Córdova, M. E., & Florido-Bacallao, R. (2023). Eficiencia fisiológica de la planta de frijol ante un déficit hídrico. *Cultivos Tropicales*, 44(1), 1-7.
- Salinas-Pérez, R. A., Rodríguez-Cota, F. G., Navarro-Sandoval, F. J., & Padilla-Valenzuela, I. (1995). *Nuevas variedades de frijol para Sinaloa*. Sinaloa, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Santillan-Huaman, A., Tejada-Alvarado, J. J., García, L., Vázquez-García, J., Fernandez, E., Vilca-Valqui, N. C., & Oliva-Cruz, M. (2024). Morpho-physiological response of four native accessions of *Phaseolus vulgaris* L. subjected to water stress under greenhouse conditions in Northeastern Peru. *Agronomy*, 14(9), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092044>

- Shakya, R., Capilla, E., Torres-Pagán, N., Muñoz, M., Boscaiu, M., Lupuț, I., ... & Verdeguer, M. (2023). Effect of two biostimulants, based on *Ascophyllum nodosum* extracts, on strawberry performance under mild drought stress. *Agriculture*, 13(11), 2108. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112108>
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1985). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591-611.
- Shukla, P., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A., & Prithiviraj, B. (2017). Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AoB Plants*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plx051>
- Shukla, P. S., Mantin, E. G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2019). *Ascophyllum nodosum* based biostimulants: sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance and disease management. *Frontiers in Plant Science*, 10, 655. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00655>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola Consultado el 12 de mayo de 2024, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Siwakoti, R., Minhaz, Y., & Deka, H. (2023). Study of pharmacological and non pharmacological activity of legume polysaccharide. *Journal of Applied Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(2), 9-18.
- Smith, M., Veneklaas, E., Polanía, J., Rao, I., Beebe, S., & Merchant, A. (2019). Field drought conditions impact yield but not nutritional quality of the seed in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *PLoS One*, 14, 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217099>
- Tinte, M., Masike, K., Steenkamp, P., Huyser, J., Hooft, J., & Tugizimana, F. (2022). Computational Metabolomics Tools Reveal Metabolic reconfigurations underlying the effects of biostimulant seaweed extracts on maize plants under drought stress conditions. *Metabolites*, 12, 487. <https://doi.org/10.3390/metabo12060487>
- Tran, T., Callahan, D., Islam, M., Wang, Y., Arioli, T., & Cahill, D. (2023). Comparative metabolomic profiling of *Arabidopsis thaliana* roots and leaves reveals complex response mechanisms induced by a seaweed extract. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1114172>
- Wang, X., Li, X., Zhao, W., Hou, X. & Dong, S. (2024) Current views of drought research: experimental methods, adaptation mechanisms and regulatory strategies. *Frontiers Plant Science*, 15, 1371895. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1371895>
- Wasae, A. (2021). Evaluation of drought stress tolerance based on selection indices in haricot bean varieties exposed to stress at different growth stages. *International Journal of Agronomy*, 1, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2021/6617874>
- Zermeño-Gonzalez, A., López-Rodríguez, B. R., Melendres-Alvarez, A. I., Ramírez-Rodríguez, H., Cárdenas-Palomo, J. O., & Munguía-López, J. P. (2015). Extracto de alga marina y su relación con fotosíntesis y rendimiento de una plantación de vid. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(12), 2437-2446.
- Zhou, G., Zhou, X., Nie, Y., Bai, S. H., Zhou, L., Shao, J., ... & Fu, Y. (2018). Drought-induced changes in root biomass largely result from altered root morphological traits: Evidence from a synthesis of global field trials. *Plant Cell & Environment*, 41, 2589-2599. <https://doi.org/10.1111/pce.13356>