

## Estrés por sequía en frijol: Uso de bioestimulantes para el rendimiento y sus componentes

### Drought stress in beans: Use of biostimulants for yield and its components

Jesús del Rosario Ruelas-Islas<sup>1</sup> , Celia Selene Romero-Félix<sup>1\*</sup> , Salomón Buelna-Tarín<sup>1</sup> ,  
Fernando Alberto Valenzuela-Escoboza<sup>1</sup> , Cándido Mendoza-Pérez<sup>2</sup> , Antonio Villalobos-González<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte. Calle 16 s/n esquina Japaraqui, CP. 81110. Juan José Ríos, Guasave, Sinaloa, México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Posgrado de Hidrociencias, Carretera México-Texcoco, km 36.5, CP. 56230. Montecillo, Estado de México, México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Sureste, Campo Experimental Edzna. San Francisco de Campeche, Campeche, México.

\*Autor de correspondencia: [celiaromero@uas.edu.mx](mailto:celiaromero@uas.edu.mx)

#### Artículo científico

Recibido: 14 de junio 2025

Aceptado: 18 de abril 2026

**RESUMEN.** El frijol común es un cultivo sensible al déficit hídrico, especialmente durante su etapa reproductiva. Se evaluó el efecto de un bioestimulante foliar a base de glicina betaína y prolina sobre el rendimiento y sus componentes en frijol común Azufrado Reyna bajo condiciones de riego y sequía inducida en campo, en el Valle del Fuerte, Sinaloa, México. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 2, considerando dos niveles de humedad (riego y sequía) y dos de aplicación de un bioestimulante (con y sin aplicación), se valuó el rendimiento y sus componentes y fenología de la planta. Los resultados mostraron que el estrés hídrico redujo significativamente el rendimiento de semilla, el número de vainas normales, número de semillas normales por vaina y por m<sup>2</sup>, el peso de cien semillas y el índice de cosecha, sin afectar la biomasa aérea. Además, la etapa de madurez fisiológica fue más breve (22 días) en comparación con la de riego. La aplicación del bioestimulante no tuvo efecto significativo sobre las variables evaluadas ni en riego ni sequía. También se observaron correlaciones positivas y significativas entre el rendimiento de semilla y sus componentes, como el número de vainas, semillas por vaina y peso de cien semillas. Esto destaca la importancia de estos componentes en la determinación del rendimiento bajo condiciones contrastantes de humedad y sugiere la necesidad de optimizar el uso de bioestimulantes para mejorar la resiliencia del frijol ante el estrés hídrico.

**Palabras clave:** Estrés hídrico, fenología, osmoprotectores, *Phaseolus vulgaris* L., rendimiento.

**ABSTRACT.** Common bean crop is sensitive to water stress especially during reproductive stage. The effect of foliar biostimulant based on glycine betaine and proline was evaluated on the yield and its components of common bean Azufrado Reyna under irrigation and drought induced conditions at Valle del Fuerte, Sinaloa, Mexico. The experiment was laid out as randomized complete block design with bifactorial arrangement, considering two water levels (irrigation and drought) and two level of biostimulant application (with and without). The results showed that water stress significantly reduced the seed yield, the number of normal pods, number of normal seed per pod and m<sup>2</sup>, the weight of hundred seeds and the harvest index, without affecting the aboveground biomass. Besides, the stage of physiological maturity was shortened (22 days) compared to the irrigated. The application of the biostimulant did not show any significant effect on the evaluated variables, neither in irrigation nor drought. Positive and significant correlations were also observed between seed yield and its components, as well as the number of pods, seeds per pod and weight of hundred seeds. This highlights the importance of these components in determining the yield under contrasting water conditions and also suggests the need to optimize the use of biostimulants to improve bean resilience to water stress.

**Key words:** Water stress, phenology, osmoprotectors, *Phaseolus vulgaris* L., yield.

**Como citar:** Ruelas-Islas JR, Romero-Félix CS, Buelna-Tarín S, Valenzuela-Escoboza FA, Mendoza-Pérez C, Villalobos-González A (2026) Estrés por sequía en frijol: uso de bioestimulantes para el rendimiento y sus componentes. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4662. DOI: 10.19136/era.a13n2.4662.

## INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas más importantes consumidas en América Latina y África, aportando proteínas (22%), carbohidratos (57%) y minerales esenciales (Márquez *et al.* 2024). En países en desarrollo, cubre aproximadamente el 30% de la ingesta diaria de proteína y es una fuente clave de ingresos para pequeños productores (Labastida *et al.* 2023). Sin embargo, la producción enfrenta serios desafíos debido al estrés hídrico, especialmente en etapa reproductiva, que puede reducir el rendimiento hasta en un 99% (Mohammed y Feleke 2022). Este estrés altera la presión osmótica y el potencial hídrico celular, causando daño oxidativo (Mladenov *et al.* 2023). Algunos cultivares muestran resistencia mediante osmoprotectores y antioxidantes, mientras que otros acumulan chaperonas moleculares en respuesta al estrés (Mladenov *et al.* 2022).

Para contrarrestar estos efectos negativos, las prácticas agronómicas han adoptado bioestimulantes para mejorar procesos fisiológicos como la fotosíntesis y la translocación de nutrientes, promoviendo el crecimiento y el rendimiento (Kocira *et al.* 2020, Malécange *et al.* 2023). Estos compuestos también actúan como precursores de metabolitos primarios y secundarios, fortaleciendo la respuesta al estrés ambiental (Trovato *et al.* 2021). Dentro de este amplio grupo de compuestos, algunos son de naturaleza osmoprotectora, como es el caso de bioestimulantes a base de glicina betaína (GB) y prolina; estos osmoprotectores aplicados de manera exógena facilitan el ajuste osmótico, estabilizan y protegen estructuras celulares y membranas durante el estrés (Shemi *et al.* 2021). Además, mejoran la productividad al aumentar la actividad antioxidante, los azúcares y las proteínas solubles, así como optimizar la tasa fotosintética para contrarrestar los efectos de la sequía (Khalid *et al.* 2022). Al respecto, Villa-Castorena *et al.* (2021) evaluaron distintas sustancias con función osmoprotectora aplicadas de forma exógena en el genotipo de frijol Pinto Saltillo bajo condiciones de estrés hídrico y observaron que la GB incrementó el área foliar, la biomasa seca total y el rendimiento de grano. Mientras que Ibrahim *et al.* (2022) determinaron que la aplicación de prolina en el cultivo de maíz bajo condiciones de riego deficitario aumentó el peso de la mazorca (11.70%), el peso de 100 granos (21.07%), el rendimiento de grano (10.93%) y la biomasa (23.05%) con la aplicación de 2 mM de prolina, en comparación con el testigo.

El noreste de México, específicamente el estado de Sinaloa, es fuertemente afectado por la disponibilidad hídrica, lo cual ha traído como consecuencia una reducción drástica de la superficie sembrada cada ciclo, reducción en la aplicación de volúmenes de riego, y como resultado, una reducción muy marcada en el rendimiento potencial de los principales cultivos. De acuerdo a esto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de un bioestimulante compuesto por glicina betaína y prolina como osmoprotectores exógenos sobre parámetros de rendimiento y sus componentes del frijol variedad Azufrado Reyna bajo condiciones de riego y sequía inducida en campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área

El experimento se realizó en el ciclo otoño-invierno 2023-2024, en el campo experimental de la Facultad de Agricultura del Valle del Fuerte de la Universidad Autónoma de Sinaloa (25° 45' 20.88" LN, 108° 50' 22.16" LO, altitud de 12 m) en el norte de Sinaloa, México. El clima predominante de la región es cálido durante el verano, con temperaturas media anual máxima y mínima de 18 y 40 °C, y una precipitación promedio anual de 383.1 mm, cuya distribución es muy variable en todo el estado (Estación 25048 Juan José Ríos, CONAGUA-DGE, Cuenca de Bahía Lechuguilla-Ohuira-Nayachiste) (CONAGUA 2024).

Antes de la siembra se obtuvo una muestra de suelo a 30 cm de profundidad, para evaluar sus propiedades físico-químicas; el suelo fue clasificado de acuerdo a su textura como "franco-arcilloso" (50% arcilla, 30% limo y 20% arena), con bajo contenido de materia orgánica (<1%), densidad aparente de 1.15 g cm<sup>-3</sup>, pH (6.3), C.E (1.38 dS m<sup>-1</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (365 mg kg<sup>-1</sup>), PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (12 mg kg<sup>-1</sup>), K soluble (28 mg kg<sup>-1</sup>), K intercambiable (387 mg kg<sup>-1</sup>), Ca intercambiable (1900 mg kg<sup>-1</sup>), Mg intercambiable (540 mg kg<sup>-1</sup>), Na (184 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (8.60 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (12.32 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (1.60 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (1.23 mg kg<sup>-1</sup>), y constantes de humedad el suelo de 28 y 17% de humedad a capacidad de campo (CC) y porcentaje de marchitamiento permanente (PMP).

### Material genético y manejo agronómico

Se utilizó semilla de frijol común variedad Azufrado Reyna, la siembra se realizó en suelo húmedo el 03 de noviembre de 2023, colocando aproximadamente 12 semillas m<sup>-2</sup>. Este genotipo de frijol es de crecimiento determinado, con una altura de planta aproximada de 40 cm, la testa o cubierta de la semilla es de color amarillo, tiene forma redonda ovalada, posee resistencia a la oxidación, se desarrolla en regiones del norte y centro de Sinaloa, así como al sur de Sonora, inicia su floración alrededor de los 52 días después de la siembra (dds) y alcanza buen nivel de rendimiento especialmente en áreas de riego como el norte de Sinaloa (Iramfra 2021). Las técnicas de labranza fueron las empleadas por los productores de la región, mismas que están delineadas en la guía de Fundación Produce Sinaloa (2024). La fertilización NPK se aplicó en presiembra utilizando la mezcla química Eurochem Nitrofoska®Triple16 a una dosis de 500 kg ha<sup>-1</sup>. Para el control de mosca blanca y áfidos se aplicó imidacloprid a dosis de 2.5 L ha<sup>-1</sup>, mientras que el control de malezas se realizó manualmente durante todo el ciclo del cultivo.

### Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos fueron establecidos bajo un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial 2 × 2 (dos niveles de humedad; riego y sequía) y dos niveles de aplicación de un bioestimulante comercial u osmoprotector de origen vegetal (con y sin aplicación) y nueve repeticiones. El bioestimulante está formulado con 80% de glicina betaína, 10% de prolina y 10% N, el cual fue asperjado vía foliar a los 28, 42 y 73 dds a dosis de 300 g ha<sup>-1</sup>. La unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho, tomando el surco central como parcela útil.

El tratamiento de riego recibió agua desde la siembra hasta la madurez fisiológica (MF) del cultivo, mientras que en el tratamiento de sequía el riego se suspendió a partir del inicio de floración del cultivo (42 dds) hasta MF. El contenido de humedad del suelo se determinó semanalmente en diferentes estratos del suelo (0-30, 30-60 y 60-90 cm) mediante el método de humedad gravimétrica (HG%) [ $HG\% = (Msh - Mss) / Mss * 100$ ], donde Msh = masa de suelo húmedo; Mss = masa de suelo seco (Radulovich, 2009). La muestra de suelo se secó en un horno a una temperatura de 105 °C durante 48 horas.

Los riegos fueron aplicados dos veces por semana durante cinco horas aproximadamente, mediante un sistema de riego por goteo en una sección de 576 m<sup>2</sup>. Cada línea regante (24 m de largo) contempló 125 goteros a una separación de 20 cm por gotero y un gasto total (Q = 1.25 lps). Para la calendarización de los riegos de post-plante (o de auxilio), se estableció un máximo déficit permitido (MDP) del 20% de la humedad aprovechable (HA = 11%).

### Variables evaluadas

Rendimiento de semilla (RS, kg ha<sup>-1</sup>): se determinó al pesar las semillas normales y dividir el peso de la semilla entre el área cosechada (2.4 m<sup>2</sup>). Biomasa aérea total (BMA, kg ha<sup>-1</sup>): fue estimada con el peso total de todos los órganos de la parte aérea de las plantas de cada parcela útil (2.4 m<sup>2</sup>). Las plantas fueron colocadas en una incubadora (Felisa®) a una temperatura de 75 °C por un periodo de 72 h, para posteriormente obtener su peso seco. Vainas normales por m<sup>2</sup> (VN m<sup>2</sup>): se contó el número total de vainas de cada parcela útil y se consideró como vaina normal aquella que presentó al menos una semilla con el tamaño y color de la variedad. Semillas por vaina (SV): se contó el número de semillas en 40 vainas elegidas aleatoriamente de la muestra utilizada para estimar el rendimiento. Semillas normales por vaina normal (SNVN): se determinó con la relación número de semillas por vaina y el número de vainas normales. Semillas normales por m<sup>2</sup> (SN m<sup>2</sup>): se estimó con la relación número total de vainas de la muestra con respecto al área muestreada (2.4 m<sup>2</sup>). Peso de 100 semillas (P100S, g): se obtuvo al pesar 100 semillas elegidas aleatoriamente de la muestra utilizada para determinar rendimiento. Índice de cosecha (IC; %): se calculó al dividir el RS entre la BMA [ $IC = (RS/BMA) * 100$ ]. Inicio de floración (IF): se determinó cuando 50% de las plantas de cada unidad experimental presentaron flores abiertas. Madurez fisiológica (MF): se registró cuando 90% de las vainas de las plantas perdieron su pigmentación verde.

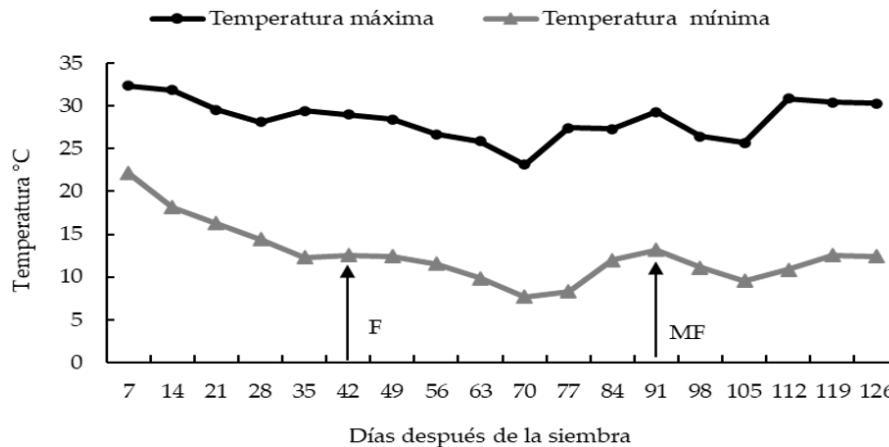
### Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sujetos a prueba de normalidad de varianzas (Shapiro y Wilk 1965), así como a un análisis de varianza con el programa Infostat. La separación de medias se realizó con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos de rendimiento y sus componentes fueron usados para determinar el coeficiente de correlación y se probaron en términos de significancia ( $\alpha = 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Datos climatológicos

Las temperaturas máxima y mínima promedio registradas fueron de 27.5 °C y 13 °C durante el ciclo del cultivo. La variación en la temperatura máxima fue de 32 a 34 °C en los meses de enero a marzo, mientras que la mínima fluctuó entre 7 y 11 °C (Figura 1).



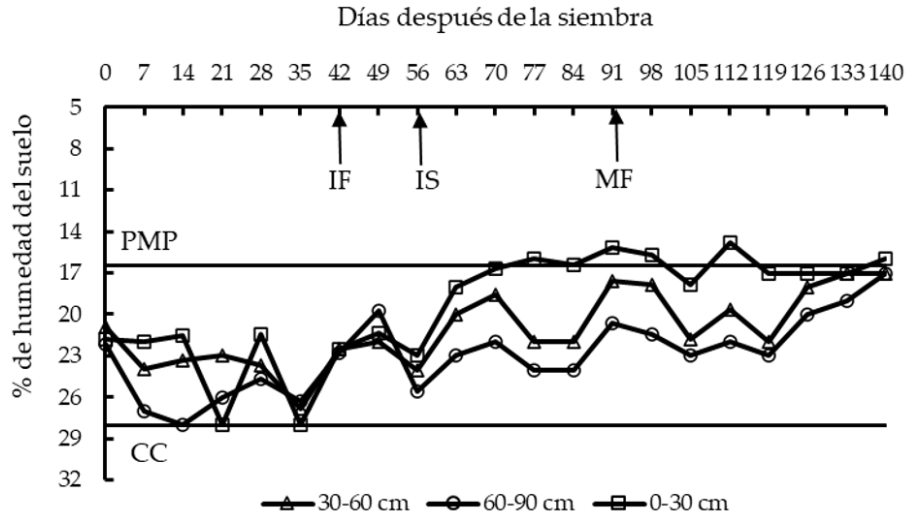
**Figura 1.** Temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal durante el ciclo otoño-invierno 2023-2024. Juan José Ríos, Sinaloa, México. F = floración; MF = madurez fisiológica.

### Contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad en los tres estratos del suelo se mantuvo cerca de capacidad de campo (CC = 28% de humedad) antes de floración. A partir del inicio de floración (IF), el nivel de humedad del suelo disminuyó en los estratos 0-60 cm del perfil del suelo, presentando valores cercanos a PMP (Figura 2). Cabe mencionar que a partir de los 56 dds inició el tratamiento de sequía (IS), donde se pudo apreciar fluctuación en el contenido de humedad en todos los estratos después de esa fecha. Sin embargo, los estratos de 30-60 y 60-90 alcanzaron el nivel de PMP a los 119 dds. Mientras, el estrato de 0-30 alcanzó el nivel de PMP más temprano en el ciclo (70 dds).

### Rendimiento, componentes y fenología en función de niveles de humedad y bioestimulante

Los niveles de humedad influyeron significativamente en el rendimiento de semilla y sus componentes. El RS (3 827 kg ha<sup>-1</sup>), el número de VN m<sup>2</sup> (222), el SNVN (2 091), el SN m<sup>2</sup> (871), el P100S (46 g) y el IC (52%) fueron mayores en condiciones de riego que en sequía (Tabla 1). También se registró que el número de días a MF fue mayor en riego que en sequía. No se observaron diferencias significativas en la producción de BMA, SV y días a IF. De la misma manera, no hubo diferencias entre los niveles de aplicación del bioestimulante para el rendimiento de semilla y sus componentes y tampoco para la fenología del cultivo. En la interacción niveles de humedad y aplicación del bioestimulante, se observó que el número de días a MF fue mayor en condiciones de riego con y sin aplicación del bioestimulante que en condiciones de sequía con y sin aplicación de bioestimulante (Tabla 1).



**Figura 2.** Contenido de humedad del suelo en los estratos de 0-30, 30-60 y 60-90 cm en condiciones de sequía durante el experimento. Ciclo 2023-2024. Juan José Ríos, Sinaloa, México. IF = inicio de floración; IS = inicio del tratamiento de sequía; MF = madurez fisiológica. CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitamiento permanente.

**Tabla 1.** Rendimiento de semilla y sus componentes de la variedad de frijol Azufrado Reyna en función de niveles de humedad y aplicación de bioestimulante a base de glicina betaína.

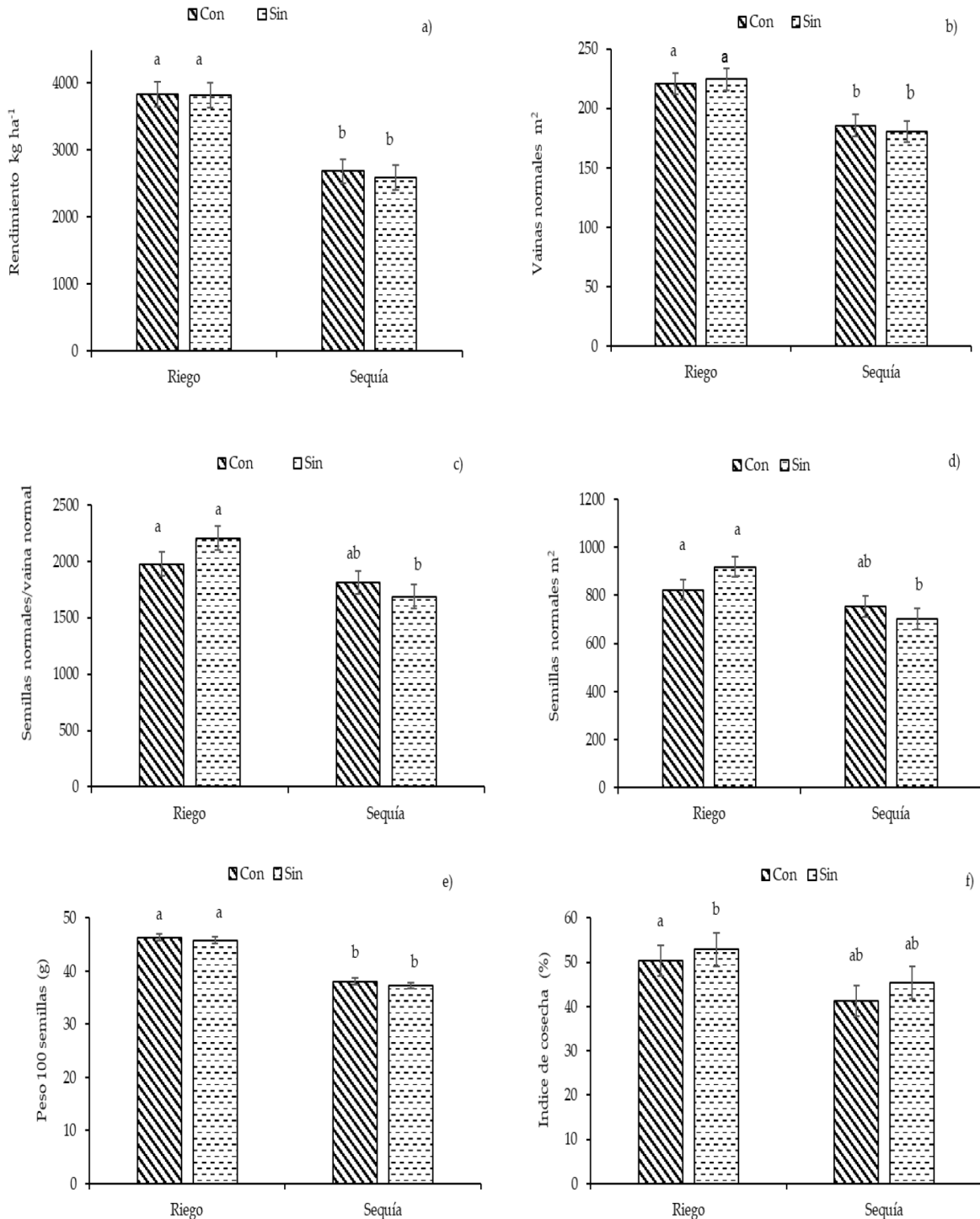
Tratamientos	RS kg ha <sup>-1</sup>	BMA kg ha <sup>-1</sup>	VN m <sup>2</sup>	SV	SNVN	SN m <sup>2</sup>	P 100S	IC %	F dds	MF dds
<b>Humedad</b>										
Riego	3 827 <sup>a</sup>	7 113 <sup>a</sup>	222 a	4.0 <sup>a</sup>	2 091 <sup>a</sup>	871 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>
Sequía	2 637 <sup>b</sup>	6 216 <sup>a</sup>	183 b	3.9 <sup>a</sup>	1 750 <sup>b</sup>	729 <sup>b</sup>	38 <sup>b</sup>	43 <sup>b</sup>	42 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>
<i>p</i> ≤ 0.05	0.81	0.2	0.0001	0.5	0.002	0.002	0.001	0.02	0.72	3
<b>Bioestimulante</b>										
Con	3 259 <sup>a</sup>	7 094 <sup>a</sup>	203 a	4.0 a	1 894 <sup>a</sup>	789 <sup>a</sup>	42.2 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	103 <sup>a</sup>
Sin	3204 <sup>a</sup>	6 236 <sup>a</sup>	202 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	1 946 <sup>a</sup>	811 <sup>a</sup>	41.5 <sup>a</sup>	46 <sup>a</sup>	42 <sup>a</sup>	102 <sup>a</sup>
<i>p</i> ≤ 0.05	0.7	0.2	0.9	0.9	0.6	0.6	0.2	0.3	0.72	3
<b>Interacción</b>										
Riego-con									42 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>
Riego-sin									41 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>
Sequía-con									41 <sup>a</sup>	93 <sup>b</sup>
Sequía-sin									41 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>

RS = Rendimiento de semilla; BMA = Biomasa aérea total; VN m<sup>2</sup> = Vainas normales por m<sup>2</sup>; SV = Semillas por vaina; SNVN = Semillas normales por vaina normal; SN m<sup>2</sup> = Semillas normales por m<sup>2</sup>; P100S = Peso de 100 semillas; IC = Índice de cosecha; F = Floración; MF = Madurez fisiológica. Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey *p* ≤ 0.05).

### Interacción niveles de humedad y bioestimulante en rendimiento y componentes

De acuerdo con el análisis de varianza, los niveles de humedad *vs.* aplicación de bioestimulante no tuvieron efecto significativo en el rendimiento de semilla y sus componentes. Sin embargo, los valores del rendimiento de semilla (Figura 3a), número de vainas normales por m<sup>2</sup> (Figura 3b),

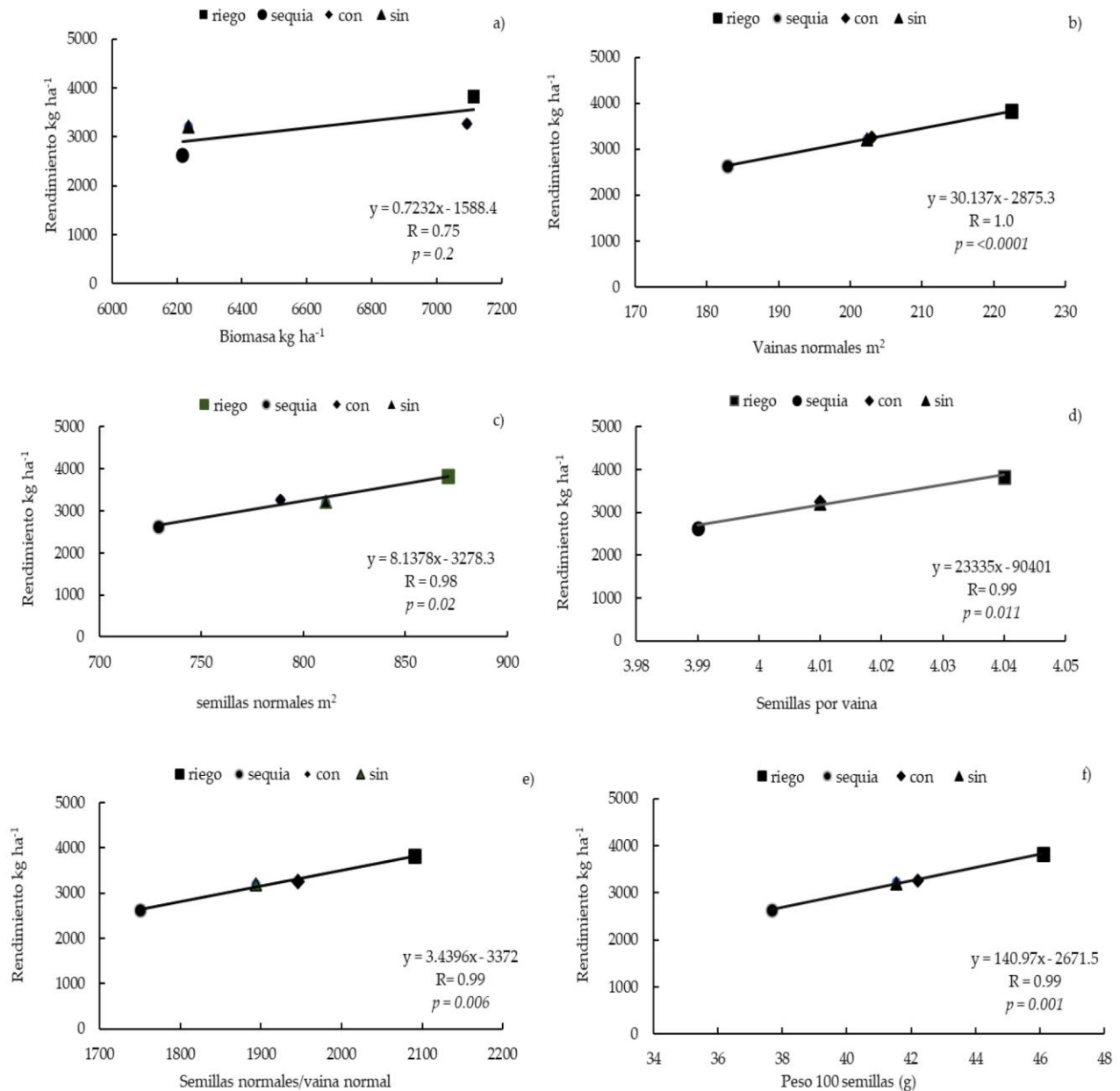
número de semillas normales por vaina normal (Figura 3c), número de semillas normales por m<sup>2</sup> (Figura 3d), peso de 100 semillas (Figura 3e) e índice de cosecha (Figura 3f) fueron mayores en condiciones de riego con y sin aplicación de bioestimulante en comparación con el tratamiento de sequía.



**Figura 3.** Interacción humedad y bioestimulante en rendimiento y componentes.

### Relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes

El análisis de correlación determinó una relación positiva entre cada uno de los parámetros evaluados. Se observó una correlación positiva y significativa para el rendimiento de semilla con el número de vainas normales por m<sup>2</sup> (Figura 4b), con el número de semillas por vaina (Figura 4d), con el número de semillas normales por vaina normal (Figura 4e), con el peso de 100 semillas (Figura 4f) y con el número de semillas normales por m<sup>2</sup> (Figura 4c). También se observó una correlación positiva pero no significativa para el rendimiento de semilla con la biomasa (Figura 4a).



**Figura 4.** Relación entre el rendimiento de semilla con la biomasa aérea final (a), vainas normales m<sup>2</sup> (b), semillas normales m<sup>2</sup> (c), semillas por vaina (d), semillas normales/vaina normal (e), peso de 100 semillas (f) en riego y sequía para la variedad de frijol Azufrado Reyna.

## DISCUSIÓN

### Datos climatológicos

De acuerdo con el patrón de temperaturas, se observó un importante descenso en la temperatura mínima (7 °C) especialmente durante el mes de enero, la cual coincidió con la etapa de llenado de vaina. Posteriormente, se vuelven a incrementar a medida que el cultivo progresa hacia la madurez fisiológica. La temperatura máxima osciló entre 32 a 34 °C, la cual supera las óptimas para el frijol (19 y 26 °C), pudiendo afectar negativamente la viabilidad del polen, el llenado de vainas y el rendimiento, ya que la exposición a temperaturas de 31 °C/24 °C (día/noche) durante la etapa reproductiva puede provocar aborto de vainas, menor llenado de vainas y mayor esterilidad del polen en variedades susceptibles (Rose *et al.* 2023), ocasionando disminución en el rendimiento de semilla.

### Contenido de humedad del suelo

La determinación de las constantes hídricas del suelo bajo cultivo (CC 28% y PMP 17%) permitió observar la variación en el contenido de humedad dentro del perfil. Como se esperaba, el contenido de humedad disminuyó más rápidamente en el estrato superior, ya que es la parte más alterada mecánicamente y por consiguiente se favorecen los procesos de translocación de partículas. Por otro lado, es la parte más expuesta a las condiciones de pérdida de agua por procesos de evapotranspiración y de absorción por las plantas, lo cual concuerda con lo reportado por Zhang *et al.* (2019), quienes encontraron que el contenido de humedad en las capas de suelo superficial (0-2 m) eran menores que en las capas de 2-5 m debido a la escasa precipitación, aumento en la tasa evapotranspirativa y absorción radicular en distintos suelos. Los mismos autores señalaron que la distribución del tamaño de las partículas también es afectada por cambios en la profundidad y por la pendiente del suelo, ya que esto favorece procesos erosivos de partículas de la parte superior a la parte inferior, lo cual aumenta o disminuye la capacidad de retención de humedad. Otra propiedad sumamente importante es el contenido de materia orgánica presente en el perfil, ya que aumenta la porosidad total y mejora sustancialmente la estructura y la estabilidad de los agregados. De manera contraria, estudios realizados por Liu *et al.* (2016) reportaron que el contenido de humedad promedio fue mayor en la capa superficial (0-2 m) que en capas profundas (2-5 m) durante periodos normales de precipitación en diversos tipos de suelos (variación en texturas).

### Niveles de humedad (riego y sequía)

Los resultados mostraron que el estrés hídrico impuesto durante la floración redujo significativamente el rendimiento de semilla y varios componentes del rendimiento en el cultivar de frijol común Azufrado Reyna, mientras que la aplicación del bioestimulante no mitigó estos efectos. El rendimiento de semilla bajo condiciones de sequía disminuyó 31% en comparación con las condiciones de riego, lo que confirma el severo impacto del déficit hídrico durante la etapa reproductiva, según lo reportado por González-Lemes *et al.* (2022), quienes argumentan que el rendimiento de semilla disminuye drásticamente cuando las plantas son sometidas a períodos prolongados de sequía durante la etapa reproductiva, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio, ya que el periodo de estrés hídrico fue de 50 días, el cual estuvo comprendido desde floración hasta madurez fisiológica. Por su parte, Taha y Hashem (2019) señalan que la sequía

durante floración y llenado de vainas conduce al aborto de flores y vainas, lo cual ocasiona disminución del rendimiento de semilla e índice de cosecha.

En condiciones de sequía, la disminución en el número de vainas normales (18%), semillas normales por vaina (16%), semillas normales por m<sup>2</sup> (16%), el peso de 100 semillas (17%) y el índice de cosecha (17%) con respecto a riego corroboran aún más estos hallazgos, indicando que el estrés hídrico limita la asignación de fotoasimilados a los órganos reproductivos (Teran *et al.* 2019). Así mismo, Hageman *et al.* (2020), Hageman y van Volkenburgh (2021) observaron que las plantas capaces de llenar las semillas bajo condiciones de sequía mantienen el crecimiento de los órganos de demanda, los cuales se correlacionan fuertemente con el rendimiento. Por otro lado, el número de días a madurez fisiológica fue 22 días menor al de riego, lo cual coincide con lo reportado por otros autores (Romero-Félix *et al.* 2021, Burbano-Erazo *et al.* 2021). Por su parte, Fernández-Rivera (2024) determinaron que la sequía redujo el rendimiento en un 36%, el número de vainas por planta en un 28.5% y los días hasta la madurez fisiológica 0.7%.

Con respecto a la acumulación de biomasa total no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego y sequía, lo que sugiere que el crecimiento vegetativo fue aparentemente menos afectado que el desarrollo reproductivo. Esto es consistente con los resultados de Monteiro-Galvão *et al.* (2019), quienes observaron que el déficit hídrico redujo principalmente el cuajado de vainas y el llenado de semillas en lugar de la producción de biomasa. A pesar de que dicha acumulación fue similar en ambas condiciones, en sequía su valor fue menor, lo cual es similar a lo reportado por Chacón *et al.* (2019) y Soureshjani *et al.* (2019) quienes determinaron disminución en la acumulación de biomasa en el cultivo de frijol debido al déficit hídrico. No obstante, dichos efectos pueden variar dependiendo del genotipo (Ruiz-Sánchez *et al.* 2023), etapa fenológica e intensidad del estrés (Domínguez-Martínez *et al.* 2024). Por otro lado, Monteiro-Galvão *et al.* (2019) observaron que la producción de biomasa total en el cultivo de frijol común (cv IAC Imperador) se redujo 45% en tratamientos de estrés hídrico moderado (40 kPa-floración) en comparación con los de riego (10 kPa) en condiciones de invernadero, y que dicha reducción en la producción de materia seca estuvo relacionada con la disminución en el área foliar, lo cual provocó cambios en la interceptación de luz, afectando la actividad fotosintética; el mismo comportamiento también fue observado por Soureshjani *et al.* (2019).

### Niveles de aplicación del bioestimulante

La falta de respuesta significativa del bioestimulante a base de glicina betaína (GB) y prolina sobre el rendimiento y sus componentes del frijol Azufrado Reyna podría deberse a diferencias genéticas en la respuesta del genotipo ante estos solutos compatibles. Al respecto, Herrera-Flores *et al.* (2012) demostraron que la aplicación foliar de GB y prolina en dos variedades de frijol con diferente nivel de tolerancia a sequía: Pinto Villa (resistente) y Bayo madero (susceptible), generó mayor elongación radicular en Pinto Villa, sin efectos relevantes en el crecimiento o acumulación de biomasa total ni radicular en Bayo Madero, evidenciando que el efecto de estos osmoprotectores depende en gran medida del material genético. Además, la respuesta del frijol a la aplicación exógena de glicina betaína y prolina puede verse afectada por la etapa fenológica del cultivo, la dosis y el momento de aplicación, lo que contribuye a la variabilidad de los resultados y puede diluir los efectos positivos del análisis estadístico (Khalid *et al.* 2022). Estos resultados difieren de

otros estudios donde la aplicación exógena de prolina (Hosseinifard *et al.* 2022) y GB (Taha y Hashem, 2019) promovió el crecimiento, el rendimiento y la tolerancia al estrés en diversas especies. Por ejemplo, Janmohammadi *et al.* (2024) reportaron que la aplicación foliar de GB incrementó el rendimiento bajo estrés hídrico al mejorar el ajuste osmótico y la actividad antioxidante, mientras que Haghighi *et al.* (2021) observaron un aumento del rendimiento de remolacha azucarera al aplicar GB y metanol (4 g L<sup>-1</sup>), pasando de 106 a 123.6 t ha<sup>-1</sup>. En el presente estudio, la falta de efecto podría atribuirse a factores como la composición del bioestimulante, la dosis empleada (300 g ha<sup>-1</sup>), o el momento de aplicación (28, 42 y 73 días después de la siembra), los cuales posiblemente no fueron óptimos para las condiciones de sequía impuestas. Asimismo, Monteiro-Galvão *et al.* (2019) destacan que la eficacia de los bioestimulantes depende del método de aplicación y de las condiciones ambientales, por lo que es posible que la aplicación foliar no haya estimulado adecuadamente los procesos fisiológicos y morfológicos relacionados con la formación y llenado de vainas.

### **Interacción entre niveles de humedad por bioestimulante**

La interacción entre los niveles de humedad y la aplicación del producto a base de glicina betaína y prolina no mostró efecto significativo en el rendimiento y sus componentes de acuerdo con el análisis de varianza. Esto indica que la respuesta puede variar dependiendo del genotipo evaluado y del ambiente (Chahine *et al.* 2020). Por otro lado, el nivel de estrés hídrico impuesto no fue tan severo, ya que este inició a los 14 días después de la floración, etapa considerada como la más susceptible a sequía, cuando la humedad edáfica aún se encontraba en el nivel de humedad aprovechable (entre CC y PMP), incluso estuvo así cerca de la etapa de MF (Figura 2). Acerca de eso, Hernández-Figueroa *et al.* (2022) mencionan que la efectividad de distintos productos, considerados osmoprotectores, regulan las hormonas del estrés y participan en la detoxificación de especies reactivas de oxígeno, pero su efecto positivo sobre el crecimiento y productividad de los cultivos se observa principalmente en condiciones de estrés severo; en estrés leve, el impacto es mínimo o nulo. Ashraf y Foolad (2006) mencionan que aplicaciones de GB o prolina en muchas especies de plantas pueden no tener efecto significativo en el crecimiento y el rendimiento final del cultivo bajo estrés ambiental. Sin embargo, los tratamientos de riego con y sin la aplicación del bioestimulante exhibieron valores numéricamente más altos para el rendimiento de semilla y sus componentes. Esta tendencia coincide con los resultados observados por Rani *et al.* (2020), quienes sugieren que los beneficios de GB son más pronunciados en condiciones óptimas de humedad, lo cual mejora la partición de fotoasimilados a las semillas. También, Janmohammadi *et al.* (2024) encontraron que la aplicación combinada de riego + GB en el cultivo de garbanzo condujo a un mayor número de vainas por planta y número de semillas por planta (13%), mayor peso de 100 semillas y peso de grano en el tratamiento de riego sin GB y riego + GB, esto con respecto a los tratamientos donde no se aplicó GB. Mientras que Taha y Hashem (2019) evaluaron el efecto de cuatro regímenes de humedad (% de ETr) en un suelo arcilloso (Vertic Torrifluent) y cuatro dosis de GB en frijol común cultivar Nebraska, y encontraron que bajo condiciones de riego (85% ETr) más la aplicación foliar de 20 mM L<sup>-1</sup> de GB contrarrestó el efecto negativo del déficit hídrico y mejoró el crecimiento, rendimiento y calidad de grano.

## Relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes

La relación entre el rendimiento de semilla y el número de vainas, número de semillas por vaina y peso de semillas en frijol común es fundamental para entender y mejorar la productividad de este cultivo, siendo estos los componentes claves para la selección y mejoramiento genético; en ese sentido, diversos estudios han mostrado que el número de vainas por planta es uno de los predictores más importantes del rendimiento y que su aumento generalmente incrementa la producción de semilla, al presentar una correlación positiva y fuerte (Contreras-Rojas *et al.* 2024). De la misma manera, que el número de semillas por vaina y el peso de las semillas influyen directa y positivamente y que dichos componentes junto con el número de vainas explican una gran parte de la variabilidad en el rendimiento (Tola *et al.* 2023). Al respecto, Arriagada *et al.* (2023) encontraron una correlación positiva para el peso de 100 semillas con respecto al rendimiento de líneas originarias de América Central y América del sur, enfatizando que el peso de 100 semillas es el componente menos afectado por factores ambientales en comparación con otros componentes de rendimiento. Por otra parte, Demessie *et al.* (2024) reportaron que el rendimiento de 12 variedades tuvo una relación positiva y significativa con el número de vainas por planta, semillas por vaina y biomasa seca, las cuales fueron cultivadas en dos locaciones del distrito Sekoru, Etiopía. Mientras, Al-Ballat y Al-Araby (2019) determinaron una asociación positiva y significativa entre el rendimiento y el número de vainas por planta y otros caracteres. Sin embargo, Tapia *et al.* (2022) encontraron que el porcentaje en la reducción de vainas se relacionó negativamente con el porcentaje de reducción de rendimiento.

Las correlaciones positivas y significativas entre el rendimiento de semilla y sus componentes como vainas normales, semillas por vaina y peso de 100 semillas refuerzan la importancia de estos rasgos en la determinación del potencial de rendimiento, como lo destacan Chaibva *et al.* (2024) y Arriagada *et al.* (2023). Estas relaciones indican que la sequía interrumpe principalmente el desarrollo de las vainas y las semillas, limitando el rendimiento.

## CONCLUSIONES

El estrés hídrico durante la etapa reproductiva redujo significativamente el rendimiento del frijol Azufrado Reyna, además, aceleró la madurez fisiológica del cultivo. Las correlaciones positivas entre el rendimiento y componentes clave como número de vainas normales m<sup>-2</sup>, semillas por vaina, semillas normales m<sup>-2</sup> y peso de 100 semillas destacan su relevancia como indicadores de productividad. La falta de efecto del bioestimulante sugiere la necesidad de optimizar su aplicación.

## CONFLICTO DE INTERÉS

"Los autores declaran que no tienen intereses en competencia".

## LITERATURA CITADA

- Al-Ballat IA, Al-Araby AA (2019) Characterization, genetic diversity and clustering of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) accessions based on seed yield and related traits. *Egyptian Journal of Horticulture* 46(2): 195-213. <https://doi.org/10.21608/ejoh.2019.14116.1110>
- Arriagada O, Arévalo B, Cabeza RA, Carrasco B, Schwember AR (2023) Meta-QTL analysis for yield components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plants* 12: 117. <https://doi.org/10.3390/plants12010117>
- Ashraf M, Foolad (2006) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental And Experimental Botany* 59(2): 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Burbano-Erazo E, León-Pacheco R, Cordero-Cordero C, López-Hernández F, Cortés A, Tofiño-Rivera A (2021) Multi-environment yield components in advanced common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) × Tepary Bean (*P. acutifolius* A. Gray) interspecific lines for heat and drought tolerance. *Agronomy* 11(10): 1978. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101978>
- Chacón D, Valdivia C, García-Esteva A, Cayetano-Marcial M, Shibata J (2019) Phenotypic variation and biomass partitioning during post-flowering in two common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) under water restriction. *South African Journal of Botany* 121: 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.10.031>
- Chahine S, Giannini V, Roggero PP, Melito S (2020) First insight of exogenous addition of proline and glycinebetaine to mitigate fluorine toxicity effects on common bean seedlings. *Italian Journal Of Agronomy* 16(2). <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1754>
- Chaibva E, Musundire L, Chivasa W, Lagat A (2024) Adaptation, path coefficient and correlation study of yield and associated traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of Agricultural Science* 16(10): 2. <https://doi.org/10.5539/jas.v16n10p65>
- CONAGUA (2024) Comisión Nacional del Agua. Estaciones Climatológicas. <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2025.
- Contreras-Rojas M, Guzmán D, Mercado, S, Salazar-Villareal F (2024) Path analysis of yield and yield components in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Euphytica* 220(36). <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03298-2>
- Demessie F, Gebresilassie W, Garedew W, Shifaraw G (2024) Evaluation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) cultivars for yield and yield-related traits at sekoru district, South Western Ethiopia. *American Journal of Applied Scientific Research* 10(1): 1-16. <https://doi.org/10.11648/j.ajasr.20241001.11>
- Domínguez-Martínez PA, Alejos-de la Fuente JI, Vaquera-Huerta H, Pro-Martínez A, Torres-Hernández G, Mendoza-Pedroza SI, Villarreal-González JA (2024) Calidad y vigor en semilla de cebada *cv.* Brennus. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Número Especial IV: e4110. <https://doi.org/10.19136/era.a11nIV.4110>
- Fernández-Rivera M (2024) Respuesta de variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) a sequía intermitente. *Agro Productividad* 15(5): 3-9. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i5.2573>
- Fundación Produce Sinaloa (2024) Agrobiotecnología. [www.fps.org.mx](http://www.fps.org.mx). Fecha de consulta: 5 de noviembre de 2024.
- 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>

- Hageman A, van Volkenburgh E (2021) Sink strength maintenance underlies drought tolerance in common bean. *Plants* 10(3): 489. <https://doi.org/10.3390/plants10030489>
- Hageman AN, Urban MO, van Volkenburgh E (2020) Sensitivity of leaflet growth rate to drought predicts yield in common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Funct. Plant Biol* 47(9): 792-802. <https://doi.org/10.1071/FP19332>
- Haghighi P, Habibi D, Mozafari H, Sani B, Sadeghishoae M (2021) Impact of methanol and glycine betaine on yield and quality of fodder beet genotypes (*Beta vulgaris subsp. vulgaris*). *Agronomy* 11(11): 2122. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112122>
- Hernández-Figueroa K, Sánchez-Chávez E, Ojeda-Barrios D, Chávez-Mendoza C, Muñoz-Márquez E, Palacio-Márquez A (2022) Effectiveness of the application of biostimulants in snapbean under water stress. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 28: 149-160. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3270>
- Herrera-Flores TS, Ortíz-Cereceres J, Delgado-Alvarado A, Acosta-Galleros JA (2012) Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4): 713-725.
- Hosseinfard M, Stefaniak S, Ghorbani, Javid M, Soltani E, Wojtyla Ł, Garnczarska M (2022) Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: A review. *International Journal of Molecular Sciences* 23(9): 5186. <https://doi.org/10.3390/ijms23095186>
- Ibrahim A, Mageed TAE, Abohamid Y, Abdallah H, El-Saadony M, AbuQamar S, El-Tarabily K, Abdou N (2022) Exogenously applied proline enhances morph-physiological responses and yield of drought-stressed maize plants grown under different irrigation systems. *Frontiers in Plant Science* 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.897027>
- Iramfra (2021) Frijol higuera. <https://iramfra.com/productos/>. Fecha de consulta: 15 de febrero del 2025.
- Janmohammadi M, Kouchakkhani H, Sabaghnia N (2024) The effect of supplemental irrigation and exogenous application of glycine betaine on chickpea performance in semi-arid region. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University* 61(2): 189-199. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1402726>
- Khalid M, Rehman HM, Ahmed N, Nawaz S, Saleem F, Ahmad S (2022) Using exogenous melatonin, glutathione, proline, and glycine betaine treatments to combat abiotic stresses in crops. *International Journal of Molecular Science* 23: 12913. <https://doi.org/10.3390/ijms232112913>
- Kocira A, Lamorska J, Kornas R, Nowosad N, Tomaszewska M, Leszczynska D, Kozowicz K, Tabor S (2020) Changes in biochemistry and yield in response to biostimulants applied in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy* 10: 189. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020189>
- Labastida D, Ingvarsson PK, Rendon-Anaya M (2023) Dissecting the genetic basis of drought responses in common bean using natural variation. *Frontiers in Plant Science* 14: 1143873. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143873>
- Liu Y, Zhao W, Wang L, Zhang X, Daryanto S, Fang X (2016) Spatial variations of soil moisture under *Caragana korshinskii* Kom. from different precipitation zones: Field based analysis in the Loess Plateau, China. *Forests* 7:31. <https://doi.org/10.3390/f7020031>
- Malécange M, Sergheraert, R, Teulat, B, Mounier, E, Lothier, J, Sakr S (2023) Biostimulant properties of protein hydrolysates: Recent advances and future challenges. *International Journal of Molecular Science* 24: 9714. <https://doi.org/10.3390/ijms24119714>
- Márquez K, Arriagada O, Pérez-Díaz R, Cabeza RA, Plaza A, Arévalo B, Meisel LA, Ojeda D, Silva H, Schwember AR (2024) Nutritional characterization of chilean landraces of common bean. *Plants* 13: 817. <https://doi.org/10.3390/plants13060817>
- Mladenov P, Sibel-Aziz S, Topalova E, Renaut J, Planchon S, Raina A, Tomlekova N (2023) Physiological responses of common bean genotypes to drought stress. *Agronomy* 13: 1022. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041022>

- Mladenov P, Zasheva D, Planchon S, Leclercq CC, Falconet D, Moyet, Brugière S, Moyankova D, Tchorbadjieva M, Ferro M (2022) Proteomics evidence of a systemic response to desiccation in the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. International Journal of Molecular Science 23: 8520. <https://doi.org/10.3390/ijms23158520>
- Mohammed A, Feleke E (2022) Future climate change impacts on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) phenology and yield with crop management options in Amhara region, Ethiopia. CABI Agricultural Bioscience 3: 229. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00103-9>
- Monteiro-Galvão I, dos Santos OF, Cruz de Souza ML, Guimarães JJ, Kühna IE, Broettob F (2019) Biostimulants action in common bean crop submitted to water deficit. Agricultural Water Management 225: 105762. [C10.1016/j.agwat.2019.105762](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105762)
- Radulovich R (2009) Método gravimétrico para determinar *in situ* la humedad volumétrica del suelo. Agronomía Costarricense 33(1): 121-124.
- Rani A, Devi P, Jha UC, Sharma KD, Siddique KH, Nayyar H (2020) Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. Frontiers in Plant Science 10: 1759. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01759>
- Romero-Félix CS, López-Castañeda C, Kohashi-Shibata J, Martínez-Rueda CG, Miranda-Colín S, Aguilar-Rincón VH (2021) Yield and accumulated biomass in common bean under irrigation and rainfed. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas 12(8): 1363-1376.
- Rose T, Lowe, C, Miret J, Walpole H, Halsey K, Venter E, Urban M, Buendia H, Kurup S, O'Sullivan D, Beebe S, Heuer S (2023) High temperature tolerance in a novel, high-quality *Phaseolus vulgaris* breeding line is due to maintenance of pollen viability and successful germination on the stigm. Plants 12. <https://doi.org/10.3390/plants12132491>
- Ruiz-Sánchez M, Muñoz-Hernández Y, Rodríguez-Pérez R, Santana-Baños Y, Mesa-Sotolongo S, Encalada-Córdova ME, Florido-Bacallao R (2023) Eficiencia fisiológica de la planta de frijol ante un déficit hídrico. Cultivos Tropicales 44(1): 1-7.
- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52(3/4): 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- Shemi R, Wang R, Gheith ESMS, Hussain HA, Cholidah L, Zhang K (2021) Role of exogenous-applied salicylic acid, zinc and glycine betaine to improve drought-tolerance in wheat during reproductive growth stages. BMC Plant Biology 21: 574. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03367-x>
- Soureshjani HK, Nezami, A, Kafi M, Tadayon M (2019) Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. Agricultural Water Management 213: 270-279. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.038>
- Taha NM, Hashem FA (2019) Reducing water stress in green bean using glycine betaine application. Middle East Journal of Applied Sciences 9(1): 252-266.
- Tapia G, Méndez J, Inostroza L, Lozano C (2022) Water shortage affects vegetative and reproductive stages of common bean (*Phaseolus vulgaris*) Chilean landraces, differentially impacting grain yield components. Plants 11: 749. <https://doi.org/10.3390/plants11060749>
- Teran JC, Konzen ER, Palkovic A, Tsai SM, Rao IM, Beebe S, Gepts P (2019) Effect of drought stress on the genetic architecture of photosynthate allocation and remobilization in pods of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), a key species for food security. BMC Plant Biology 19(1): 2-15. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1774-2>
- Tola M, Tesso B, Amsalu B (2023) Genetic variability and association of yield and yield-related traits under moisture stress in common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) at Melkassa and Miesso, Ethiopia. Advances in Agriculture 8697497. <https://doi.org/10.1155/2023/8697497>

- Trovato M, Funck D, Forlani G, Okumoto S, Amir R (2021) Amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science* 12: 1-5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>
- Villa-Castorena M, Catalán-Valencia E, Inzunza-Ibarra M, Macías-Rodríguez H, Jacobo-Salcedo M (2021) Respuesta de frijol en estrés hídrico a la aplicación de osmoprotectores. *Agrofaz* 3(2): 68-78.
- Zhang Xiao, Zhao Wenwu, Wang Lixin, Liu Yuanxin, Liu Yue, Feng Qiang (2019) Relationship between soil water content and soil particle size on typical slopes of the Loess Plateau during a drought year. *Science of the Total Environment* 648: 943-954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.211>