

Supervivencia y rendimiento de variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico en la Sierra Nororiental de Puebla


Survival and yield of bean varieties with horizontal resistance to water stress in the Sierra Nororiental de Puebla

Manuel Huerta-Lara ¹  [0000-0002-8500-4689](https://orcid.org/0000-0002-8500-4689)

Delfino Reyes-López ²  [0000-0002-8360-0567](https://orcid.org/0000-0002-8360-0567)

Juliana Bautista-Calles ¹

J. Santos Hernández-Zepeda ¹

J. F. Conrado Parraguirre-Lezama ³  [0000-0002-8510-5877](https://orcid.org/0000-0002-8510-5877)

Omar Romero-Arenas ³  [0000-0003-0076-3609](https://orcid.org/0000-0003-0076-3609)

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Departamento de Desarrollo sustentable, Instituto de Ciencias

² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Agrohidráulica

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Agroecología, ICUAP

✉ biol.ora@hotmail.com

© Universidad De La Salle Bajío (México)

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*; tiempo térmico (TT); fenología; cal agrícola; rendimiento; frijol; variedades de frijol; resistencia horizontal; estrés hídrico; Puebla; leguminosas; cultivos; estabilidad genética; agroecotipos

Keywords: *Phaseolus vulgaris*; thermal time; phenology; agricultural lime; yield; beans; bean varieties; horizontal resistance; water stress; Puebla; legumes; crops; genetic stability; agroecotypes

Recepción: 01 – 06 – 2021 / Aceptación: 07 – 09 – 2021

Resumen

Introducción: El frijol es la leguminosa más cultivada del mundo. En México es el segundo cultivo más importante después del maíz y de importancia básica para el consumo humano. La selección de variedades tolerantes a déficit hídrico, constituye una estrategia para incrementar la estabilidad genética de los cultivos y disminuir las pérdidas en el rendimiento con la finalidad de definir agroecotipos específicos para el cultivo de frijol.

Método: El objetivo del trabajo fue evaluar cuatro variedades de frijol negro con resistencia horizontal a estrés hídrico bajo condiciones de temporal en dos localidades de la Sierra Nororiental del estado de Puebla. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 10 tratamientos y 5 repeticiones; las variables evaluadas fueron a) supervivencia durante el ciclo fenológico del cultivo y b) rendimiento potencial con la adición de cal agrícola al suelo, por ser una práctica campesina local de cultivo de frijol en la región, durante el ciclo agrícola 2019.

Resultados: La emergencia del cultivo se registró a los 10 días después de la siembra (dds), floración (60 dds) y madurez fisiológica en 124 dds, en San Juan Acateno del municipio de Teziutlán y en Pezmatlán del municipio de Tlatlauquitepec. Las variedades de frijol Huejonapan y Acatlán sin aplicación de cal, obtuvieron el mayor rendimiento potencial con 757 y 562 kg ha⁻¹ respectivamente en la localidad de San Juan Acateno bajo condiciones de temporal.

Conclusión: La aplicación de cal agrícola no tuvo efecto significativo en el rendimiento de las variedades mejoradas, así como en el testigo regional Michigan; sin embargo, la mayor producción se presentó en la variedad Huejonapan y Acatlán sin aplicación de cal agrícola durante el ciclo de producción agrícola 2019 para la localidad de San Juan Acateno del municipio de Teziutlán, Puebla.

Abstract

Introduction: Beans are most widely cultivated legume in the world. In Mexico it is second most important crop after corn and of basic importance for human consumption. Selection of varieties tolerant to water deficit constitutes a strategy to increase the genetic stability of crops and reduce losses in yield in order to define specific agroecotypes for bean crop.

Method: Objective of work was to evaluate four varieties of black beans with horizontal resistance to hydric stress under rainstorm conditions in acid soils in two localities of Northeastern Sierra of state of Puebla. A randomized complete block design with 10 treatments and 5 repetitions was used; variables evaluated were a) survival during phenological cycle of crop and b) potential yield with addition of agricultural lime to soil, during 2019 agricultural cycle.

Results: The emergence of the crop was recorded 10 days after sowing (dds), flowering (60 dds) and physiological maturity at 124 dds, in San Juan Acateno of the municipality of Teziutlán and in Pezmatlán of the municipality of Tlatlauquitepec. The Huejonapan and Acatlán bean varieties without lime application, obtained the highest potential yield with 757 and 562 kg ha⁻¹ respectively in the town of San Juan Acateno under rainstorm conditions during the 2019 agricultural cycle.

Conclusion: Application of agricultural lime did not have a significant effect on yield of improved varieties, as well as in Michigan regional control; However, highest production was

presented in Huejónapan and Acatlán variety without application of agricultural lime during 2019 agricultural production cycle for town of San Juan Acateno in municipality of Teziutlán, Puebla.

Introducción

El frijol [*Phaseolus vulgaris* (L.)] es un alimento de importancia básica para el consumo humano que se cultiva en todo el mundo (Raatz *et al.*, 2019). La producción mundial para el año 2019 fue de 28 974 968 toneladas, siendo Myanmar el primer lugar con 5 846 622 toneladas, seguida por la India con 5 310 000 toneladas; y en tercer lugar Brasil con 2 906 508 toneladas. México ocupa el octavo lugar, con una producción de 879 404 toneladas (FAOSTAT, 2021). El cultivo de esta leguminosa va desde los trópicos hasta las zonas templadas, ocupando 15 millones de hectáreas en el mundo (Maqueira-López *et al.*, 2017). Sin embargo, el 60 % de la producción se obtiene en condiciones de déficit hídrico; por lo que este factor es el que más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2006; Karimzadeh *et al.*, 2020). Además, los suelos ácidos presentan limitaciones para la producción agrícola, los trópicos y subtropicales contienen hasta el 60 % de los suelos ácidos de todo el mundo, afectando el rendimiento de los cultivos en muchos países (Kochian *et al.*, 2004; Rahman *et al.*, 2018).

En México, se siembran más de un millón de hectáreas de frijol, localizadas principalmente en el altiplano semiárido, que oscila entre los 1,800 y 2,200 msnm (Kristin *et al.*, 1997; Reyes-Matamoros *et al.*, 2014); cuya productividad es afectada por diversas enfermedades, entre las que destaca el tizón común del frijol, inducido por la bacteria *Xanthomonas axonopidis* pv. *phaseoli* (Vauterin *et al.*, 1995, Arce-Espino *et al.*, 2016).

El mejoramiento genético del cultivo de frijol por resistencia horizontal a enfermedades y a estrés hídrico en México inició en 1988, con variedades colectadas en la región Mixteca baja, en tres municipios rurales de los estados de Guerrero, Oaxaca y Puebla (García *et al.*, 2003). La selección masal efectuada a través de un largo tiempo, tuvo como objetivo obtener altos niveles de resistencia cuantitativa a patógenos con importancia local y alto rendimiento (Rodríguez *et al.*, 2013), mientras se retienen las cualidades culinarias de las variedades de la Mixteca baja. El programa de mejoramiento se concentró en acumular resistencia cuantitativa contra los principales patógenos como son: virus mosaico común del frijol y tizón común del frijol; así como de forma indirecta contra patógenos con origen en el suelo: *Pythium* spp, *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium* spp., (Cruz-Izquierdo *et al.*, 2004; Borja-Bravo *et*

al., 2018). Las líneas avanzadas del programa de mejoramiento por resistencia horizontal presentaron un incremento progresivo en rendimiento y supervivencia a partir del sexto ciclo de selección; alcanzando entre 80 y 95 % de supervivencia y rendimientos de hasta 1,796 kg ha⁻¹. Sin embargo, surge la necesidad de evaluar la progenie de los ciclos avanzados de selección en futuros sitios de cultivo, con la finalidad de definir agroecotipos específicos de frijol con alta resistencia a estrés hídrico (García *et al.*, 2003).

La composición genética define las características morfológicas y adaptaciones fisiológicas de las plantas (Grzesiak *et al.*, 1997; Lizana *et al.*, 2006). Por lo tanto, la selección de cultivares tolerantes al déficit hídrico constituye una estrategia para incrementar la estabilidad genética de los cultivos y disminuir las pérdidas en el rendimiento (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). Además, el efecto del genotipo en la respuesta al estrés hídrico ha sido observado en diversos estudios (Aguilar-Benítez *et al.*, 2017). Por tal razón, el objetivo general de este trabajo fue evaluar la supervivencia durante el ciclo fenológico y el rendimiento de cuatro variedades de frijol negro con resistencia horizontal a estrés hídrico con la adición de cal agrícola al suelo (debido a que es una práctica local de cultivo), en la Sierra Nororiental de Puebla.

Métodos

El estudio se realizó bajo condiciones de temporal en la Sierra Nororiental del estado de Puebla-México, en las localidades de San Juan Acateno del municipio de Teziutlán y en Pezmatlán del municipio de Tlatlauquitepec. Ambas zonas de estudio presentan un clima predominantemente templado húmedo, con lluvias todo el año y suelos de tipo andosol (Flores-Lorenzo y Alcántara-Ayala, 2002).

Se evaluaron cuatro variedades de frijol tolerantes a déficit hídrico provenientes de la Mixteca baja, las cuales son: Acatlán (A), Hogar (H), Huejónapan (Hj) y Xochitlán (X) (García *et al.*, 2003), en condiciones de temporal, más el testigo regional Michigan (M), que es la variedad de frijol negro cultivada en la región de Teziutlán y Pezmatlan. Las unidades experimentales consistieron en parcelas de 15 m² con seis surcos de 50 plantas cada uno, evaluando dos surcos centrales en una superficie de 5 m² y, una densidad de 100 plantas por tratamiento para ambas localidades. Los ensayos se establecieron el 12 de marzo del 2019, bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones y 10 tratamientos por localidad resultantes de la

combinación de cada variedad de frijol con y sin la aplicación de cal agrícola al suelo, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = M + T_i + B_j + n_{ij}$$

Donde:

$i = 1, \dots, T$ (Tratamientos).

$j = 1, \dots, r$ (Bloques).

M: Efecto de la media general.

T_i : Efecto del i -ésimo tratamiento que se expresa con valores positivos para tratamientos con valores promedio superior a la media general y con valores negativos para tratamientos con promedios menores a la media general del experimento.

B_j : Efecto del j -ésimo bloque, que expresa con valores positivos para bloques con Productividad promedio superior a la media general y negativos en caso contrario.

E_{ij} : Error aleatorio asociado a la unidad experimental que recibió el i -ésimo tratamiento con la j -ésima repetición; surge por el efecto conjunto de todos los factores no controlados en el diseño y que causan heterogeneidad en las observaciones.

Y: Es la variable bajo estudio, (Adición de cal agrícola).

Las variedades se sembraron en forma manual a una distancia de 10 cm entre cada planta y 50 cm entre surcos aproximadamente. La cal agrícola se aplicó dos días antes de la siembra en los tratamientos seleccionados a una cantidad de 18 kg por unidad experimental, de acuerdo con la dosis regional que incorporan los campesinos en ambas regiones: 12 ton ha⁻¹. El manejo del cultivo se realizó conforme a las prácticas regionales, sin aplicación de productos químicos para el control de malezas, plagas y enfermedades.

Durante el desarrollo del experimento, todos los días se registró la temperatura máxima (T.máx) y mínima (T.mín), así como la precipitación de la estación meteorológica 00021091 Teziutlán; con estos datos se determinó el tiempo térmico (TT) mediante el método residual de Snyder (1985), en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de frijol a los 10, 60 y 124 días después de la siembra (dds), contando el total de plantas en ambos surcos de cada tratamiento.

$$TT = (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}/2) - TB$$

Donde:

T_{máx} = temperatura máxima diaria (°C).

T_{mín} = temperatura mínima diaria (°C).

TB = temperatura base o umbral, 10 °C para frijol.

EL pH se determinó con una muestra de suelo de 100 g a una profundidad de 20 cm por tratamiento. El análisis de laboratorio se realizó colocando 20 g de suelo en un vaso de precipitado, se adicionaron 40 mL de agua destilada y se agitó durante 5 minutos con agitador magnético. La muestra se dejó reposar durante 30 minutos, posteriormente se realizó la lectura con un potenciómetro marca Termo Orion® (Beretta *et al.*, 2014). La humedad relativa del suelo se midió de acuerdo con el tiempo térmico de cada etapa fenológica del cultivo para cada variedad, se tuvieron tres repeticiones por variedad disponiendo de un total de nueve subparcelas de 1 m² cada una para cada zona de estudio. El contenido de humedad de cada subparcela fue evaluado a tres profundidades: 0-20, 20-40 y 40-60 cm, en donde cada subparcela fue dividida en 100 zonas de 1 dm², de este conjunto, se extrajeron nueve muestras inalteradas; se extrajeron usando anillos de Kopecky de 100 cm³ (Quichimbo *et al.*, 2016).

La cosecha se realizó en forma manual el 13 de junio de 2019, las plantas se arrancaron a los 94 dds, se etiquetaron y se dejaron deshidratar por 30 días para reducir la humedad en el grano y alcanzar la madurez fisiológica del cultivo. Se determinó el peso del grano cosechado de cada planta por tratamiento, el cual fue colocado en bolsas de papel, etiquetado y pesado con balanza granataria, posteriormente se calculó el rendimiento potencial en condiciones de 14 % de contenido de humedad (Montenegro, 2004).

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Minitab 19®, empleando el diseño factorial de bloques completos al azar. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA UNIVARIANTE) mediante el modelo cuadrático de respuesta para la supervivencia de plantas durante el ciclo fenológico del cultivo, el pH y humedad del suelo, así como el rendimiento potencial, con el método de comparación de medias por Tukey ($p \leq 0,05$). Además, se aplicó prueba de *t de student* ($p \leq 0,05$) para determinar diferencias estadísticas significativas entre las variables de respuesta en ambas localidades de estudio y un análisis factorial para determinar el diagrama de Pareto de la interacción de los efectos principales de las variables de respuesta.

Resultados y discusión

La temperatura diurna máxima registrada durante el experimento para la siembra fue de 21 °C, la mínima de 10 °C y una precipitación de 1.8 mm, como se muestra en la fig. 1. Se registraron temperaturas promedio superiores a la temperatura techo o umbral (10 °C) de las etapas fenológicas del cultivo de frijol, la emergencia se registró a los 10 dds, floración a los 60 dds, y madurez fisiológica a los 124 dds, sin embargo, no se observaron daños en el tejido foliar de las plantas en ambos lugares de siembra.

En la tabla 1 se muestra el resumen del análisis ANOVA UNIVARIANTE para el modelo cuadrático de superficie de respuesta, encontrando diferencias estadísticas altamente significativas. El valor del Modelo para F= 3468.00 (Emergencia) 1131.90 (Floración) y 519.80 (madurez fisiológica) y sus correspondientes valores "Prob> F" (<0.01), que implica un modelo altamente significativo para el desarrollo fenológico del cultivo, siendo la variedad Huejonapan con cal en el campo experimental de San Juan Acateno, la que presentó mayor sobrevivencia. La respuesta de los genotipos al aumento de la temperatura puede estar relacionada por lo señalado por Carvalho & Nakagawa (2000), quienes indican que para cierto rango de temperaturas elevadas, la velocidad de absorción de agua y de las reacciones químicas es mayor y las semillas germinan más rápidamente.

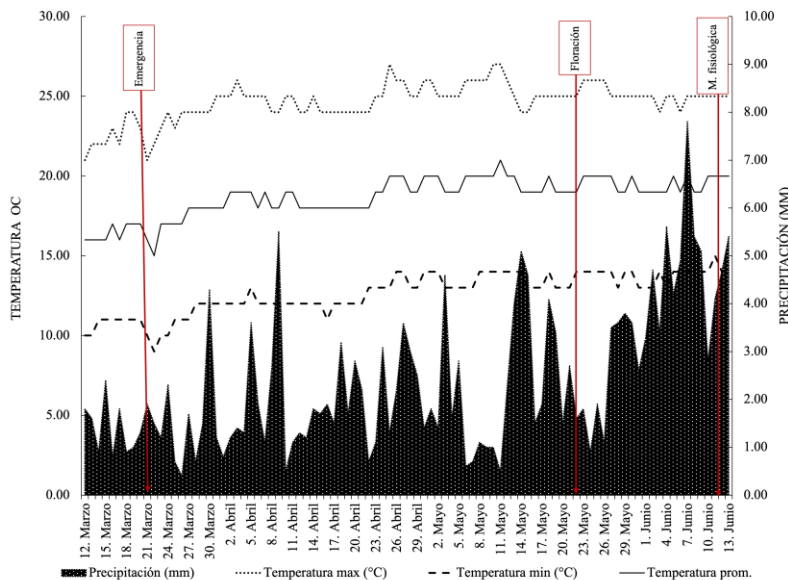


Fig. 1. Temperatura media °C y humedad relativa% durante el ciclo del cultivo de frijol 2019, (estación meteorológica de Teziutlán, Puebla, 00021091).

Fig. 1. Average temperature ° C and relative humidity% during the bean crop cycle 2019, (Teziutlan meteorological station, Puebla, 00021091).

Tabla 1. Modelo cuadrático de superficie de respuesta para las diferentes etapas fenológicas de las variedades de frijol con y sin adición de cal agrícola, en las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán, de la Sierra Nororiental de Puebla, México.

Table 1. Quadratic model of response surface for different phenological stages of bean varieties with and without addition of agricultural lime, in localities of San Juan Acateno and Pezmatlán, of Sierra Nororiental Puebla, Mexico.

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gL	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	X ₁ =Emergencia	29651.40 ^a	19	1560.60	3468.00	<.001
	X ₂ =Inicio de floración	10215.47 ^b	19	537.65	1131.90	<.001
	X ₃ =Madurez fisiológica	5678.87 ^c	19	298.88	519.80	<.001
Intersección	X ₁	97219.60	1	97219.60	216043.55	<.001
	X ₂	220374.02	1	220374.02	463945.31	<.001
	X ₃	174900.62	1	174900.62	304175.00	<.001
Variedades de frijol: A, H, Hj, X y M.	X ₁	2507.30	18	139.29	309.54	<.001
	X ₂	1004.25	18	55.79	117.45	<.001
	X ₃	548.65	18	30.48	53.01	<.001
Error	X ₁	9.00	20	0.45		
	X ₂	9.50	20	0.47		
	X ₃	11.50	20	0.57		
Total	X ₁	126880.00	40			
	X ₂	230599.00	40			
	X ₃	180591.00	40			
Total corregida	X ₁	29660.40	39			
	X ₂	10224.97	39			
	X ₃	5690.37	39			

F = Valor calculado, a. R² = 1.000; R² corregida = .999; b. R² = 0.999; R² corregida = .998; c. R² = 0.998; R² corregida = .996.

F = Calculated value, a. R² = 1,000; Corrected R² = .999; b. R² = 0.999; Corrected R² = .998; c. R² = 0.998; Corrected R² = .996. Note:

La emergencia fue heterogénea entre las variedades mejoradas y el testigo regional; ya que se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los tratamientos en ambos campos experimentales (tabla 2). La localidad de Pezmatlán presentó mayor emergencia de plántulas a los 10 dds, donde la variedad Xochitlán sin aplicación de cal alcanzó 44.50 % a diferencia del testigo regional Michigan con cal, que presentó 12.50 % y sin cal 18.50 %.

Tabla 2. Análisis *t de studen* para las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán de la Sierra Nororiental de Puebla, México.**Table 2.** Student's *t* analysis for the towns of San Juan Acateno and Pezmatlán, in Sierra Nororiental Puebla, Mexico.

Variables	M	EE	95% Intervalo de confianza		t	gL	Sig. (bilateral)
			Inferior	Superior			
a) Emergencia i) Lugar (A y B)	47.80	4.43	38.82	56.77	10.77	39	<.001
b) Floración i) Lugar (A y B)	72.72	2.63	67.39	78.05	27.58	39	<.001
c) Madurez fisiológica i) Lugar (A y B)	64.62	1.98	60.60	68.64	32.53	39	<.001
d) pH i) Lugar (A y B)	3.66	0.11	3.44	3.89	32.86	39	<.002
e) Humedad % i) Lugar (A y B)	64.72	1.95	60.77	68.67	33.16	39	<.001
f) g/5 m ² i) Lugar (A y B)	216.52	11.91	192.42	240.62	18.17	39	<.001
g) kg ha ⁻¹ i) Lugar (A y B)	434.10	23.73	386.09	482.10	18.29	39	<.001
h) Variedades i) Lugar (A y B)	9.00	5.40	0.85	7.27	10.72	39	<.001

M = Media estadística, EE = error estándar, t = Valor calculado, gL = grados de libertad, a. $R^2 = .229$; R^2 corregida = .209; b. $R^2 = .902$; R^2 corregida = .900; c. $R^2 = .506$; R^2 corregida = .493; d. $R^2 = .511$; R^2 corregida = .498; e. $R^2 = .915$; R^2 corregida = .913; f. $R^2 = .901$; R^2 corregida = .898; g. $R^2 = .902$; R^2 corregida = .899; h. $R^2 = .752$; R^2 corregida = .745. A = San Juan Acateno y B = Pezmatlán.

M = Statistical mean, SE = standard error, t = Calculated value, gL = degrees of freedom, a. $R^2 = .229$; Corrected $R^2 = .209$; b. $R^2 = .902$; Corrected $R^2 = .900$; c. $R^2 = .506$; Corrected $R^2 = .493$; d. $R^2 = .511$; Corrected $R^2 = .498$; and. $R^2 = .915$; Corrected $R^2 = .913$; F. $R^2 = .901$; Corrected $R^2 = .898$; g. $R^2 = .902$; Corrected $R^2 = .899$; h. $R^2 = .752$; Corrected $R^2 = .745$. A = San Juan Acateno and B = Pezmatlán.

El total del TT acumulado para ambos lugares de siembra del cultivo fue de 65.5 para la emergencia, 493 al inicio de la floración (50 % +1) y 812.5 para la madurez fisiológica; el número de días a cosecha fue 124 (tabla 3). Estos resultados coinciden con Morales *et al.* (2006) quienes encontraron que la emergencia, inicio de floración y madurez fisiológica en el frijol Michoacán ocurrió a los 9, 64 y 120 dds, con una acumulación de tiempo térmico (TT) para esas etapas fenológicas de 69, 811 y 1041, respectivamente.

Tabla 3. Supervivencia promedio de plantas de frijol en las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán, de la Sierra Nororiental de Puebla, México, con y sin aplicación de cal agrícola al suelo en el año 2019.

Table 3. Average survival of bean plants in the towns of San Juan Acateno and Pezmatlán, in the Sierra Nororiental Puebla, Mexico, with and without application of agricultural lime to the soil in 2019.

Variedades	10 dds 65.5 (TT)	*	60 dds 493 (TT)	*	124 dds 812.5 (TT)	*
San Juan Acateno						
Acatlán -	69.50	f	95.50	a	80.50	a
Acatlán +	68.50	f	88.50	cd	74.50	d
Hogar -	79.50	bc	89.50	bc	82.50	ab
Hogar +	70.50	f	83.50	e	76.50	cd
Huejonapan -	77.50	c	91.50	b	78.50	bc
Huejonapan +	84.00	a	97.50	a	80.50	ab
Xochitlán -	69.50	f	82.50	e	75.00	d
Xochitlán +	75.50	d	86.50	d	75.50	cd
Michigan -	80.50	b	89.50	bc	75.50	cd
Michigan +	78.50	bc	89.50	bc	75.50	cd
Pezmatlán						
Acatlán -	27.00	i	51.50	i	49.50	h
Acatlán +	15.50	k	60.50	g	60.50	e
Hogar -	30.50	h	57.50	h	52.50	gh
Hogar +	14.50	kl	60.50	g	57.50	ef
Huejonapan -	31.50	h	57.50	h	53.50	g
Huejonapan +	12.50	l	61.50	g	57.50	ef
Xochitlán -	44.50	g	68.50	f	60.50	e
Xochitlán +	25.50	i	66.00	f	55.50	fg
Michigan -	18.50	j	49.50	i	45.50	i
Michigan +	12.50	l	57.50	h	55.50	fg

dds = días después de la siembra; UT Unidades térmicas; +Con cal; - Sin cal. *Letras iguales en las columnas significan que no hay diferencias estadísticas significativas, según la prueba deTukey ($p \leq 0,05$).

dds = days after sowing; UT Thermal units; + With lime; - No lime. * The same letters in the columns mean that there are no statistically significant differences, according to the Tukey test ($p \leq 0,05$).

La supervivencia de plantas al inicio de la floración entre las variedades de frijol fue mayor en la localidad de San Juan Acateno que en Pezmatlán; se alcanzaron porcentajes de 97 % para la variedad Huejonapan en San Juan Acateno y de 68 % para la Xochitlán en Pezmatlán durante el desarrollo fenológico del cultivo. En la localidad de San Juan Acateno, las variedades mejoradas por resistencia horizontal a estrés hídrico, presentaron diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en la supervivencia de plantas respecto a la variedad testigo regional Michigan. La variedad Hogar sin cal obtuvo la mayor supervivencia a la madurez fisiológica a las 82.5 TT, mientras que la variedad Acatlán sin cal, al igual que la variedad Huejonapan con cal, tuvieron el 80.5 % de

sobrevivencia para el campo experimental de San Juan Acateno. En Pezmatlán, las variedades Acatlán con cal y Xochitlán sin cal obtuvieron la mayor supervivencia a la madurez fisiológica, ambas con 60.50 %. La supervivencia de las plantas en la madurez fisiológica a los 124 dds, tiempo de cosecha, fue mayor en la localidad de San Juan Acateno (91 %), que en Pezmatlán (61 %), presentando diferencias entre el testigo regional Michigan y las variedades mejoradas Acatlán y Hogar sin cal, así como Huejónapan con cal (tabla 3). La mortalidad de plantas fue mayor en la comunidad de Pezmatlán, donde a partir de la emergencia hasta la madurez fisiológica, varió en 54.50 % para el testigo regional Michigan sin cal y 50.5% para la variedad mejorada Acatlán sin cal. Para la localidad de San Juan Acateno la mortalidad fue menor, alcanzando el 25.50 % para el testigo regional Michigan sin aplicación de cal y la variedad Acatlán con cal. El valor del Modelo para F= 35.5 (pH), 397.2 (% Humedad), 8713.3 24217.2 (g/5 m²), y 24217.2 (kg ha⁻¹) y sus correspondientes valores bajo "Prob> F" se observan en la tabla 4.

Tabla 4. ANOVA UNIVARIANTE del modelo cuadrático de superficie de respuesta para la producción de las diferentes variedades de frijol con o sin la adición de cal agrícola, en las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán, de la Sierra Nororiental de Puebla, México.

Table 4. UNIVARIANT ANOVA of the quadratic model of response surface for the production of the different varieties of beans with or without the addition of agricultural lime, in the localities of San Juan Acateno and Pezmatlán, in the Sierra Nororiental Puebla, México.

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	X ₁ = pH	3.54 ^a	19	0.18	35.5	<.001
	X ₂ = % Humedad	5472.47 ^b	19	288.02	397.2	<.001
	X ₃ = g/5 m ²	219358.47 ^c	19	11545.18	8713.3	<.001
	X ₄ = kg ha ⁻¹	874241.60 ^d	19	46012.71	24217.2	<.001
Intersección	X ₁	1068.12	1	1068.12	203451.8	<.001
	X ₂	175430.02	1	175430.02	241972.4	<.001
	X ₃	1901396.02	1	1901396.02	1435015.8	<.001
	X ₄	7589894.40	1	7589894.40	3994681.2	<.001
Variedad de frijol: A, H, Hj, X y M.	X ₁	3.54	19	0.18	35.5	<.001
	X ₂	5472.47	19	288.02	397.2	<.001
	X ₃	219358.47	19	11545.18	8713.3	<.001
	X ₄	874241.60	19	46012.71	24217.2	<.001
Error	X ₁	0.10	20	0.005		
	X ₂	14.50	20	0.72		
	X ₃	26.50	20	1.32		
	X ₄	38.00	20	1.90		
Total	X ₁	1071.76	40			
	X ₂	180917.00	40			
	X ₃	2120781.00	40			
	X ₄	8464174.00	40			
Total corregida	X ₁	3.64	39			
	X ₂	5486.97	39			

Supervivencia y rendimiento de variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico en la Sierra Nororiental de Puebla

X ₃	219384.97	39
X ₄	874279.60	39

F= Valor calculado, a. R² = .971; R² corregida = .944; b. R²= .997; R² corregida = .995; c. R²= 1.000; R² corregida = 1.000; d. R²= 1.000; R² corregida = 1.000.

F = Calculated value, a. R2 = .971; Corrected R2 = .944; b. R2 = .997; Corrected R2 = .995; c. R2 = 1,000; Corrected R2 = 1,000; d. R2 = 1,000; Corrected R2 = 1,000.

La supervivencia de las variedades de frijol mejoradas por resistencia horizontal bajo estrés hídrico, fue superior al testigo regional Michigan ($p \leq 0,05$) en ambas localidades evaluadas. Aspecto debido a que, las variedades mejoradas, fueron originadas mediante selección masal recurrente y segregación transgresiva para acumular poligenes con resistencia a varios patógenos, bajo las condiciones edafoclimáticas de la Región Mixteca de Puebla (García *et al.* 2003).

En este estudio se identificaron plantas de frijol con pudriciones de raíz, inducidas por *Fusarium* spp., principalmente; así como incidencia de virus mosaico común del frijol con baja severidad y tizón foliar inducido por *Alternaria* spp. Estas enfermedades no causaron muerte de plantas, solo daño foliar para ambas regiones de estudio. Sin embargo, todos estos patógenos identificados se presentaron en bajos porcentajes de incidencia, menores al 5%. Cruz-Izquierdo *et al.* (2004) mencionan que los patógenos foliares más comunes fueron: Virus Mosaico Común del Frijol (Bean Common Mosaic Virus: BCMV), tizón común del frijol por la bacteria *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* y, patógenos con origen en suelo registrados fueron: *Pythium* spp, *Rhizoctonia solani*, *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium* spp. Otro estudio realizado por Ruíz-Salazar *et al.* (2016) reporta para Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec un caso de tizón común, aunado a la identificación de SCARs asociados a la resistencia al virus del mosaico (mosaico dorado), además de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*). El tizón común y antracnosis son agentes causales de enfermedades con mayor importancia económica del frijol ayocote en la Sierra Nororiental de Puebla (Ruíz-Salazar *et al.*, 2020). Estos agentes causales también pueden afectar al testigo regional Michigan durante el desarrollo del cultivo, así como a las variedades mejoradas aquí evaluadas (Acatlán, Hogar, Huejónapan y Xochitlán), las cuales son de crecimiento determinado y se siembran en monocultivo (García *et al.* 2003).

Los niveles de humedad promedio del suelo en Pezmatlán fueron de 35 % para las parcelas sin aplicación de cal y 32 % para los tratamientos con aplicación de cal. En San Juan Acateno, los niveles de humedad fueron mayores, donde se registró 47 % para las parcelas sin aplicación de cal y 48 % para los tratamientos con aplicación de cal agrícola al suelo (tabla 5). Singh (1995), menciona que el estrés del agua reduce el rendimiento de la semilla y el peso de 100 semillas y la madurez acelerada, efectos que se acentuaron directamente por la baja

disponibilidad de humedad en el suelo durante el ciclo agrícola 2019. Las dos localidades de experimentación en la Sierra Nororiental de Puebla, San Juan Acateno y Pezmatlán, presentaron pH ácido del suelo a los 65 dds (con y sin aplicación de cal agrícola), tiempo en que las plantas estaban en la etapa de producción de ejotes y llenado de grano.

El pH varió significativamente en la localidad de San Juan Acateno, al detectarse con 4.74 sin aplicación de cal a 5.79 con aplicación de cal ($p \leq 0.05$), sin embargo, en la localidad de Pezmatlán no presentó diferencia significativa, al variar el pH de 4.87 a 5.28 (tabla 5). Por lo tanto, la adición de cal no generó un efecto significativo en el pH en ambos lugares de estudio y no indujo la colonización de la raíz por microorganismos que favorecen el desarrollo de la planta, tal como lo señalaron Guzman *et al.* (2016), quienes encontraron que cepas de *Rhizobium* spp., no crecieron generalmente a pH 4 y 5; y señalaron que está bien documentado que el pH óptimo para el crecimiento de los rizobios está en torno a la neutralidad.

Tabla 5. Características del suelo respecto al rendimiento de variedades de frijol en las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán, de la Sierra Nororiental de Puebla, México. 2019.

Table 5. Soil characteristics and average yield of bean varieties in the towns of San Juan Acateno and Pezmatlán, in Sierra Nororiental Puebla, Mexico. 2019.

Variedades	pH	*	Humedad (%)	*	g/5 m ²	*
San Juan Acateno						
Acatlán -	4.74	hi	47.50	fa	282.50	d
Acatlán +	4.81	hi	48.50	a	285.50	d
Hogar -	5.44	bg	47.50	a	320.50	b
Hogar +	5.79	a	48.50	a	208.50	i
Huejonapan -	5.44	b	47.50	a	379.50	a
Huejonapan +	5.34	bcd	48.50	a	260.50	f
Xochitlán -	5.43	b	47.50	a	180.50	l
Xochitlán +	5.25	bce	47.50	a	266.50	e
Michigan -	5.39	bc	47.50	a	210.50	gi
Michigan +	5.46	b	48.50	a	312.50	c
Pezmatlán						
Acatlán -	4.87	fgiii	35.50	b	162	n
Acatlán +	5.08	defg	32.50	b	185.5	kl
Hogar -	5.00	efgh	35.50	b	188	gik
Hogar +	5.06	defg	32.50	b	215.5	h
Huejonapan -	4.68	i	35.50	b	175.5	m
Huejonapan +	5.22	bcde	32.50	b	234.5	g
Xochitlán -	4.65	i	35.50	b	108.5	ñ
Xochitlán +	5.11	cddef	32.50	b	190.5	gi
Michigan -	5.28	bcde	35.50	b	111	ñ
Michigan +	5.27	bcde	32.50	b	82.5	o

Letras iguales en las columnas significa que no hay diferencias estadísticas significativas, según la prueba deTukey ($p \leq 0.05$). dds= días después de la siembra.

Equal letters in the columns means that there are no statistically significant differences, according to the Tukey test ($p \leq 0.05$). dds = days after sowing.

La aplicación de cal no tuvo ningún efecto significativo en el rendimiento de las variedades mejoradas ($p \geq 0,05$), ni en el testigo regional Michigan, en las dos localidades evaluadas. No obstante, en la localidad de Pezmatlán, los tratamientos de las variedades tolerantes a estrés hídrico que recibieron aplicación de cal, presentaron mayor rendimiento que los tratamientos sin cal; a diferencia del testigo regional Michigan (fig. 2). Estos resultados son similares a los reportados por *Henríquez et al.* (1995) donde observaron una leve respuesta a la aplicación de cal, aunque esta no fue estadísticamente significativa en la mayoría de las variables; concluyen que la enmienda requiere más de tiempo para que reaccione en el suelo y afecte de manera positiva a la planta.

El rendimiento de las variedades de frijol tolerantes a estrés hídrico, presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) respecto del testigo regional Michigan en ambas localidades de estudio, como se observa en la fig. 2, siendo las variedades mejoradas Huejónapan y Acatlán sin aplicación de cal, en la localidad de San Juan Acateno las que obtuvieron mayor rendimiento potencial con 757 y 562 kg ha⁻¹ respectivamente; estas superaron con 337 y 142 kg ha⁻¹ al testigo regional Michigan sin cal (420 kg ha⁻¹) y a la variedad mejorada Xochitlán sin aplicación de cal (363 kg ha⁻¹) hasta con 394 y 199 kg ha⁻¹ respectivamente. Lo anterior puede deberse a que los padres originales de las variedades mejoradas aquí evaluadas, son nativos de la Mixteca Poblana; región en que predominan los suelos pobres, donde se realizaron muchos ciclos avanzados de mejoramiento por resistencia horizontal de estas variedades de frijol, conservando rendimientos regulares, así como la tolerancia a sequía (*García et al.*, 2003; *Cruz-Izquierdo et al.*, 2004).

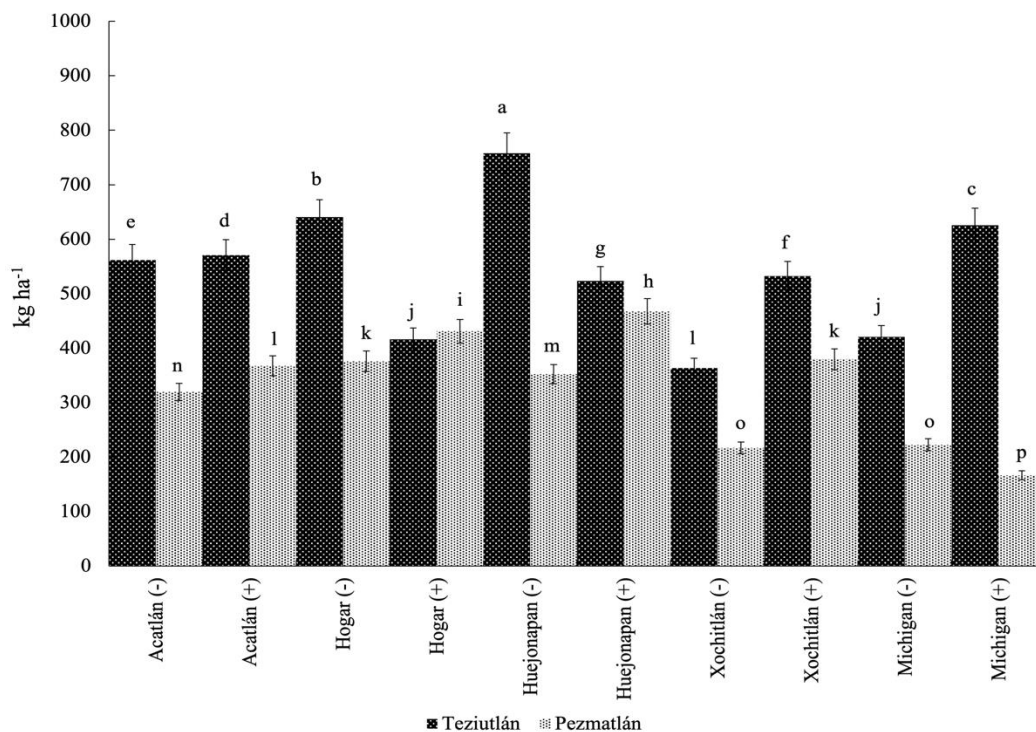


Fig. 2. Rendimiento potencial (Kg ha⁻¹) para cada variedad de frijol en las localidades de San Juan Acateno y Pezmatlán, de la Sierra Nororiental de Puebla, México. (+) con cal agrícola (-) sin cal agrícola.

*Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Fig. 2. Potential yield (Kg ha⁻¹) for each variety of beans in the towns of San Juan Acateno and Pezmatlán, in Sierra Nororiental de Puebla, Mexico. (+) with agricultural lime (-) without agricultural lime.

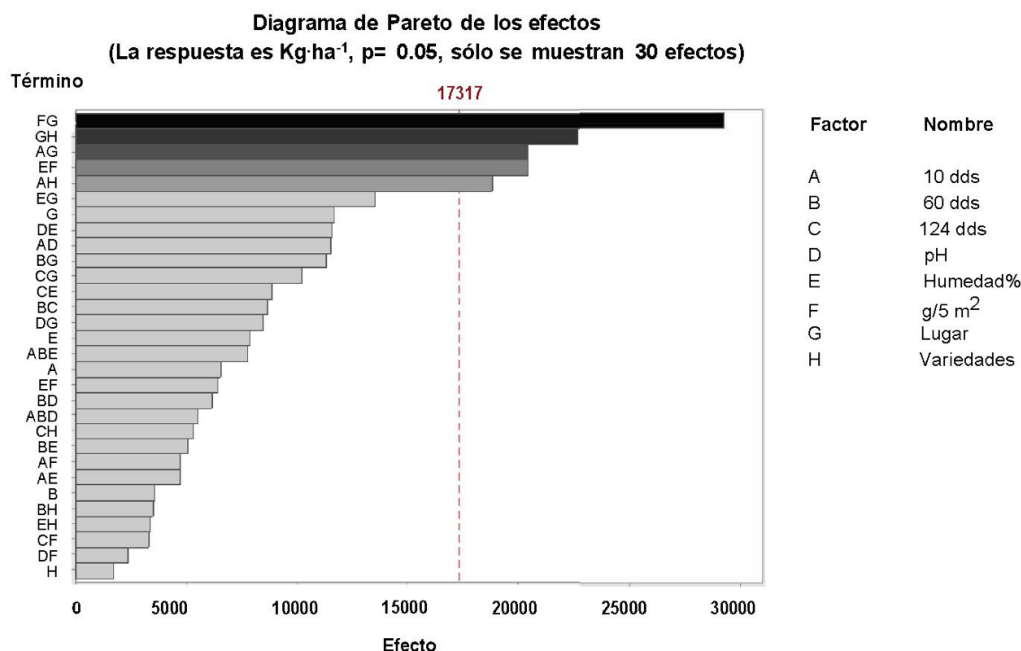
* Means with different letters indicate statistically significant differences with Tukey's test ($p \leq 0,05$).

El testigo regional Michigan con aplicación de cal se ubicó en el tercer lugar de producción en este estudio, donde alcanzó 625 kg ha⁻¹ para Teziutlán; hecho que concuerda con la media del ciclo anual, en el año 2019, para el cultivo de frijol en temporal (SIAP, 2020), donde la región de Teziutlán, que cultiva frijol Michigan, obtuvo un rendimiento de 615.38 kg ha⁻¹. No obstante, esta variedad Michigan fue superada por la variedad mejorada Huejonapan sin aplicación de cal (fig. 2), hecho que resalta su potencial de adaptación a los suelos ácidos de la región.

Las mejores variedades para la localidad de Pezmatlán, fueron: Huejonapan y Hogar con aplicación de cal, que alcanzaron 468 y 430 kg ha⁻¹ respectivamente, superando al testigo regional Michigan con cal (que alcanzó 166 kg ha⁻¹), hasta con 302 y 264 kg ha⁻¹ respectivamente. No obstante, se pudo observar que no alcanzaron el rendimiento promedio de 615.38 kg ha⁻¹, del ciclo agrícola para el año 2019, reportado para el cultivo de frijol en temporal (SIAP, 2020).

Las variedades mejoradas por resistencia horizontal a estrés hídrico, mostraron tolerancia a sequía; ya que durante el ciclo de producción primavera-verano 2019, en que fueron evaluadas, la precipitación fue muy escasa durante el periodo de floración (fig. 1). Los niveles de humedad en San Juan Acateno, municipio de Teziutlán, no fueron mayor a 50 % a los 60 dds. Al igual que en Pezmatlán, municipio de Tlatlauquitepec, lugar con clima semejante a Teziutlán, donde la humedad del suelo no superó el 35% a los 60 dds. Hecho que demostró la incidencia de estrés hídrico, aun cuando ambos lugares se han caracterizado por tener un clima templado húmedo con lluvias todo el año (Flores-Lorenzo & Alcántara-Ayala, 2002). La característica de tolerancia a sequía que presentaron estas variedades mejoradas por resistencia horizontal a estrés hídrico, puede ser debida, a que los padres originales provienen de variedades nativas de la Mixteca Poblana, donde han sido cultivadas durante mucho tiempo por los agricultores Mixtecos, bajo condiciones de temporal en un clima semiárido (García *et al.*, 2003).

En el diagrama de Pareto (fig. 3), las barras que representan los factores FG (g/5 m² y Lugar), GH (Lugar y Variedades de frijol), AG (10 dds y Lugar), EF (% de Humedad y g/5 m²) y AH (10 dds y Variedades de frijol) cruzan la línea de referencia que está en 17 317. Estos factores son estadísticamente significativos en el nivel de $p \leq 0.05$ con los términos del modelo factorial y un error aleatorio de 8015.84 (Lenth-PSE), siendo la interacción FG (g/5 m² y Lugar) la que tiene mayor importancia para el rendimiento potencial, seguido del lugar de estudio y las variedades de frijol.



PSE de Lenth = 8015.84

El mayor rendimiento de las variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico se presentó en la localidad de San Juan Acateno. Hecho que pudo deberse: a) al mayor porcentaje de supervivencia durante el ciclo fenológico del cultivo, que fue el resultado directo de un mayor porcentaje de emergencia durante los primeros 10 dds; ya que los porcentajes de mortalidad entre los 60 a los 124 dds fueron bajos; b) al mayor porcentaje de germinación, en San Juan Acateno, que pudo deberse al mayor porcentaje de humedad en el suelo (50 %), a diferencia de la localidad de Pezmatlán, que solo alcanzó el 35 % como máximo; c) Así como, a la magnitud del daño causado por el déficit hídrico, sobre el rendimiento del frijol, que se puede explicar en relación al bajo porcentaje de humedad, a la intensidad del estrés, a la duración del mismo y al genotipo de cada variedad (Acosta & Kohashi, 1989; Pedroza & Muñoz, 1993; Castañeda-Saucedo *et al*, 2006). Ya ha sido comprobado, que cuando el estrés hídrico se presenta durante la etapa reproductiva, se afecta directamente el rendimiento en grano del frijol, en razón de que se afectan los componentes del rendimiento; como son: el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso del grano (Acosta & Kohashi, 1989), hecho que pudo observarse en la presente investigación.

Conclusiones

La aplicación de cal agrícola no tuvo efecto significativo en el rendimiento de las variedades mejoradas en relación al testigo regional Michigan, así como en el pH del suelo en las regiones de estudio.

La temperatura ambiental, de las localidades San Juan Acateno y Pezmatlán, permitió alcanzar el tiempo térmico necesario para el desarrollo fenológico productivo de las variedades de frijol mejoradas con resistencia a estrés hídrico.

Las mejores variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico, para la localidad de San Juan Acateno del municipio de Teziutlán, fueron: Huejonapan y Hogar sin aplicación de cal, con un rendimiento potencial de 757 y 640 kg ha⁻¹ respectivamente; y para la localidad de Pezmatlán, del municipio de Tlatlauquitepec, fueron: Huejonapan y Hogar con aplicación de cal, que alcanzaron 468 y 430 kg ha⁻¹ respectivamente, durante el ciclo de producción agrícola 2019.

Recomendaciones

Dado que las variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico tienen la capacidad de incrementar su adaptabilidad a través del tiempo, se recomienda a los productores de la zona continuar con su cultivo, ya que son mejores en rendimiento que la variedad regional Michigan. Por otro lado, a los investigadores se les recomienda continuar con experimentos de evaluación de las variedades mejoradas con resistencia horizontal tolerantes a estrés hídrico en la misma zona de estudio; pero sin la adición de cal al suelo, con la finalidad de seleccionar un agroecotipo específico para las condiciones edafoclimáticas de la Sierra Nororiental de Puebla, México e incrementar de esta manera la sostenibilidad del agroecosistema frijol negro en la región.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma Benemérita de Puebla (BUAP) por el apoyo financiero a este proyecto de investigación, así como a CONACYT por el apoyo recibido.

Referencias

- Acosta-Díaz E., Acosta-Gallegos A.J., Trejo-López C., Padilla-Ramírez S.J., & Amador-Ramírez D.M. (2009). Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México*, 35, 416-425. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60812274007>
- Acosta G.A., & Kohashi S.J. (1989). Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research*, 20, 81-93. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90054-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90054-3)
- Aguilar-Benítez G., Peña-Valdivia C.B., Castro-Rivera R., Lara-Ávila J.P., Cruz-Crespo E., & Rojas V. (2017). Efecto del vermicompost y estrés hídrico en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): parámetros productivos y relaciones hídricas. *PHYTON*, 86, 28-39.
- Arce-Espino C., Ley de Coss A., Aguirre-Medina J.F., Posada-Cruz S., & Solano-Vidal R. (2016). Resistencia de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado por métodos cuantitativos contra *Xanthomonas axonopodis* pv. *Phaseoli*. *Agroproductividad*, 30(10), 38-44. <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/829>
- Beretta A., Bassahún, D., Musselli R. (2014). ¿Medir el pH del suelo en reposo agitando con la mezcla suelo: agua? *Agrociencia Uruguay*, 18(2), 90-94.

- Borja-Bravo M., Osuna-Ceja E.S., Arellano-Arciniega S., García-Hernández R.V., & Martínez-Gamiño M. (2018). Competitividad y eficiencia en la producción de habas comunes bajo condiciones de lluvia con tecnología tradicional y recomendada. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4), 443-450. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.443-450>.
- Carvalho N.M., & Nakagawa, E.J. (2000). *Sementes: ciencia, tecnologia e producao*. Jaboticabal, Funep, Brasil. 590 p.
- Castañeda-Saucedo M. C., Córdova-Teélez L., González-Herneández V.A., Delgado-Alvarado A., Santacruz-Varela A., & García de los Santos G. (2006). Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. *Interciencia*, 31(6), 461-466.
- Cruz-Izquierdo S., Ramírez-Vallejo P., García-Espinosa R., Castillo-Gonzalez F., & Sandoval-Islas J.S. (2004). Selección para resistencia a tizón común en frijol. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(2),141-147. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61027204>
- Flores-Lorenzo P., & Alcántara-Ayala I. (2002). Cartografía morfogénica e identificación de procesos de ladera en Teziuitlán, Puebala. *Investigaciones Geográficas*, 49, 7-26.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). (2019). <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/T/TP/S>
- García E.R., Robinson R.A., Aguilar P.A., Sandoval I.S., & Guzman P.R. (2003). Recurrent selection for quantitative resistance to soil-borne diseases in beans in the Mixteca region, México. *Euphytica*, 130, 241-247. <https://doi.org/10.1023/A:1022824708377>
- Grzesiak S., Lijima M., Kono Y., & Yamauchi A. (1997). Differences in drought tolerance between cultivars of old bean and old pea. A comparison of drought-resistant and drought-sensitive cultivars. *Acta Physiologiae Plantarum*, 19, 349-357.
- Guzman-Díaz F., Torres-Gutierrez R., Granda-Mora K., Nàpoles-García M.C. (2016). Aislamiento y caracterización de Rizobios de *Crotalaria* sp., en el sur de Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(1), 40-47.
- Henriquez C., Bertsch F., Salas R. (1995). *Fertilidad de suelos*. Manual de laboratorio. ACCS. 64 p.
- Karimzadeh S.H., Mohammad K.A., & Tadayon M. (2020). The effect of deficit irrigation on dry matter partitioning, mobilization and radiation use efficiency of common bean (*Phaseolus*

- Vulgaris* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(3), 307-326. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1705323>
- Kochian L.V., Hoekenga O.A., & Piñeros M.A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 459-493. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141655>
- Kristin A.S., Rosales S.R., Ibarra P.F., Cazares E.B., Acosta G.A., Ramírez V.P., Wassimi N., & Kelly J.D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37, 43-50. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010007x>
- Lizana C., Wentworth M., Martínez J.P., Villegas D., Meneses R., Murchie E.H., Pastenes C., Lercari B., Vernieri P., Horton P., & Pinto M. (2006). Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 57, 685-697. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj062>
- Maqueira-López L.A., Rojan-Herrera O., Mesa, S.A., & Noval W.T. (2017). Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) En la localidad de los palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 58-63.
- Montenegro H. (2004). *Guía para la presentación de informes de pruebas de evaluación agronómica*. Bogotá, Colombia: ICA. 16 p.
- Morales R.E.J., Escalante J.A., Tijerina L., Volke V.H., & Sosa E. (2006). Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 55-64. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311494007.pdf>
- Pedroza J.A., & Muñoz O.A. (1993). Resistencia ontogénica y filogenética a sequía en *Phaseolus vulgaris* L. I. Caracteres vegetativos. *Agrociencia*, 4, 19-33.
- Quichimbo P., Guamán J., Cajamarca Mi., Aguirre A.J. (2016). Evaluación del contenido de humedad del suelo por gravimetría y reflectometría. *Revista Científica Ecuatoriana*, 4(1), 28-33. DOI: <https://doi.org/10.36331/revista.v4i1.25>
- Raatz B., Mukankusi C., & Lobaton J. (2019). Analyses of African common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germplasm using a SNP fingerprinting platform: diversity, quality control and molecular breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66, 707-722. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00746-0>

- Rahman M.A., Lee S.H., Ji H.C., Kabir A.H., Jones C.S., & Lee K.W. (2018). Importance of Mineral Nutrition for Mitigating Aluminum Toxicity in Plants on Acidic Soils: Current Status and Opportunities. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10), e3073. <https://doi.org/10.3390/ijms19103073>
- Reyes-Matamoros J., Martínez-Moreno D., Rueda-Luna R., & Rodríguez-Ramírez T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 191-203.
- Rodríguez C., Molina-Galán J.L., García-Zavala J.D., & Serrano-Covarrubias L.M. (2013). La selección masal permite aumentar el rendimiento sin agotar la variabilidad genética aditiva en el maíz Zacatecas 58. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 53-62.
- Ruíz-Salazar R., Muruaga-Martínez J.S., Vargas-Vázquez M.L.P., Alejandre-Iturbide G., Castañón-Nájera G., Hernández-Delgado S., Almaraz-Abarca N., & Mayek-Pérez N. (2016). Marcadores moleculares SCAR para identificar fuentes de resistencia a enfermedades en frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*). *PHYTON*, 85, 184-193.
- Ruíz-Salazar R., Vargas-Vázquez M.P., Hernández-Delgado S., Muruaga-Martínez J.S., & Mayek-Pérez N. (2019). Detección de marcadores genéticos asociados a la resistencia a patógenos en frijol ayocote de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1591-1602. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1956>
- Singh S.P. (1995). Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Science*, 35, 118-124. <https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500010022x>
- Snyder R.L. (1985) Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35, 353-358. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90095-4)
- Vauterin L., Hoste B., Kersters K., & Swings J. (1995). Reclassification of *Xanthomonas*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 45, 472-489. <https://doi.org/10.1099/00207713-45-3-472>