

Plasticidad fenotípica del frijol bajo cuatro niveles de nitrógeno en Tehuacán

Jorge Francisco León-de la Rocha¹

Ernesto Díaz-López²

Humberto Rafael Bravo-Delgado¹

Iván Báez-Rodríguez¹

Nazario Francisco-Francisco¹

Alejandro Morales-Ruiz^{1§}

¹Ecofisiología aplicada a cultivos en zonas áridas. ²Ingeniería en Agricultura Sustentable y Protegida-Universidad Tecnológica de Tehuacán. Prolongación de la 1 sur núm. 1101, San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. CP. 79859.

§Autor para correspondencia: alejandro.morales@uttehuacan.edu.mx.

Resumen

La plasticidad fenotípica es una propiedad que tiene el cultivo de frijol, como respuesta a estímulos ambientales incluida la fertilización nitrogenada. Esta planta es endémica de México y existen múltiples variantes genéticas, las cuales se adaptan a los diferentes climas y microclimas del país. Respecto al Valle de Tehuacán, Puebla, es considerado el centro de origen de la agricultura en Mesoamérica, porque en él se datan los restos más antiguos de maíz y frijol. Así el objetivo fue: evaluar la plasticidad fenotípica de un frijol de los Valles Centrales de Oaxaca, cuando es sembrado en el Valle de Tehuacán Puebla. La investigación se llevó a cabo bajo condiciones de campo en Tehuacán, Puebla. El germoplasma fue el cultivar. Rocha, que corresponde a un frijol de semilla negra y crecimiento indeterminado. Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de nitrógeno 0; 50; 100 y 150 kg ha⁻¹ y cuatro repeticiones, que se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar. Las variables de respuesta fueron: unidades SPAD, rendimiento de semilla, biomasa seca total, índice de cosecha, unidades calor, evapotranspiración e incidencia de la bacteriosis del frijol. Los resultados indican que el mayor rendimiento agronómico fue en los tratamientos T₂ y T₁ con: 8.74 y 7.09 g planta⁻¹, mientras que el rendimiento biológico mayor fue 22.15 g planta⁻¹, para el tratamiento T₂. La integral térmica fue 1 322 UC, mientras que la evapotranspiración total fue 217.94 mm. Así la mayor incidencia del tizón ocurrió en el testigo con 1.23%. Se concluye, que el cv. Rocha puede ser una alternativa de producción en el Valle de Tehuacán.

Palabras clave: biomasa, rendimiento, tizón bacteriano del frijol, unidades calor.

Recibido: enero de 2023

Aceptado: marzo de 2023

Introducción

La plasticidad fenotípica o simplemente plasticidad, se define como la aptitud de un determinado genotipo para inducir variaciones como respuesta a los cambios ambientales, mediante los procesos fisiológicos y variantes morfológicas (Kohashi, 1996). A su vez, estos cambios son consecuencia de la interacción entre el genotipo y el ambiente, como lo define Márquez (1990) en su ecuación $F = F + G + (GA)$ citado por Díaz *et al.* (2010a). A este respecto, la interacción la temperatura, precipitación, radiación solar, tipo de suelo y las prácticas agronómicas eg. reducción en la distancia de surcos o surcos a doble hilera, tienen influencia directa en los componentes del rendimiento de los cultivos como el frijol (Escalante *et al.*, 2015).

Respecto al frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es una especie que pertenece a la familia Fabaceae y es considerada como un cultivo básico en la alimentación de los pueblos latinoamericanos debido a que aporta proteínas y glucoproteínas directamente a la dieta, siendo clasificado incluso con propiedades medicinales (Bennink, 2005). En México este cultivo se siembra en climas tropicales, templados y secos, incluidos los Valles Centrales de Oaxaca, donde es utilizado para la elaboración de múltiples guisos típicos de la región (Pliego *et al.*, 2013).

Por su hábito de crecimiento se ha clasificado en dos tipos: determinado e indeterminado (Escalante y Kohashi, 1993). Estos germoplasmas presentan adaptabilidad a las zonas donde fueron sembrados por muchos años, obteniendo buenos rendimientos de grano, debido a su particular adaptabilidad y plasticidad fenotípica. Cuando estos materiales son introducidos en otras zonas geográficas como en el Valle de Tehuacán, tienden a comportarse de manera diferente, debido a la oferta ambiental heterogénea de la zona, como son las nuevas condiciones ecológicas, clima y suelo, que influyen el rendimiento agronómico, por ello se debe identificar la respuesta que presenta el cultivo para adaptarse a su nuevo entorno (Araméndiz *et al.*, 2017).

Por lo anterior, es importante valorar la plasticidad del germoplasma introducido en una nueva zona, lo que permitirá determinar su manejo agronómico del material en la zona de establecimiento. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la plasticidad fenotípica de un cultivar de frijol de Valles Centrales de Oaxaca y en el Valle de Tehuacán mediante un análisis de crecimiento.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

La presente investigación se llevó a cabo bajo condiciones de campo, en las instalaciones experimentales de la Universidad Tecnológica de Tehuacán, ubicada a 18° 24' 51'' latitud norte, 97° 20' 00'' longitud oeste y 1 409 m de altitud.

Tipo de suelo

El tipo de suelo corresponde a un litosol epiléptico, Caballero, 1990, con densidad aparente 1.4 g cm⁻² (método del y textura franco-arcillosa (método hidrómetro de Bouyoucos). pH 7.3 con una conductividad eléctrica 2.2 dS m⁻¹ (método potenciométrico) contenido de materia orgánica de 1.2% (peróxido de hidrogeno) y nitrógeno inicial de 3.2 mg kg⁻¹ (método del Kjendal) (NOM-021-RECNAT-2000).

Clima

El clima pertenece a la familia Bs₁ (w') e'g que corresponde a un clima seco con temperatura media anual mayor a 18 °C, pero menor a 27 °C. La precipitación anual es mayor a 400 mm, pero menor a 600 mm, con presencia de sequía intraestival (canícula), la oscilación de la temperatura entre el mes más cálido y el más frío, es mayor a 7 °C y menor a 14 °C, el mes más cálido ocurre antes del solsticio de verano, siendo este abril (García, 2005).

Germoplasma

El material genético proviene de una accesión de los valles centrales de Oaxaca, colectada en Cuilapan de Guerrero Oaxaca en las coordenadas geográficas 16° 59' 16" latitud norte, 96° 47' 50" longitud oeste y 1 600 msnm y corresponde a un genotipo de polinización libre, de hábito de crecimiento indeterminado semiprostrado, con color de testa negro y color de corola violácea. (Genchev y KiryaKov, 2005).

Siembra, arreglo topológico y manejo del cultivo

La siembra se realizó de forma manual, en surcos de 0.8 m de separación y 0.1 m de separación entre semillas, siendo un área total 400 m² con un total de 25 surcos, con un arreglo topológico (0.2 m x 0.8 m) que dio como resultado una densidad de población de 6.25 plantas m⁻². El ciclo de cultivo fue de 120 días, de siembra a madurez fisiológica. El control de maleza fue de forma manual, cada 15 días después de la brotación. Para el control de mosca blanca se aplicó insecticida comercial, con el ingrediente activo imidacloprid, a razón de 60 cc 100 L⁻¹ de agua, aplicado durante las etapas vegetativas Vn.

Diseño experimental, tratamientos y unidad experimental

El diseño utilizado fue bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron cuatro niveles de nitrógeno: 0, 50, 100 y 150 kg ha⁻¹ se usó como fuente sulfato de amonio (21% de N), el cual se aplicó a los 20 días después de la siembra. El experimento tuvo cuatro repeticiones y (4 x 4) = 16 unidades experimentales. La unidad experimental consistió en cinco surcos de seis m de largo, donde el surco central se consideró como la parcela útil.

Los tratamientos fueron evaluados bajo un diseño de bloques completos al azar, mediante el modelo matemático $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$. Donde: Y_{ij} es la variable respuesta del i-ésimo nivel de nitrógeno en el j-ésimo bloque; μ es la media general verdadera; T_i es el efecto del i-ésimo nivel de nitrógeno; β_j es el efecto del j-ésimo bloque; y ε_{ij} es el error experimental del i-ésimo nivel de nitrógeno en el j-ésimo bloque (Steel y Torrie, 1998; Cochran y Cox, 2005).

Variables respuesta

Se llevó a cabo cinco muestreos destructivos a intervalos de 15 días, para evaluar: unidades SPAD, medidas con ayuda de un medidor de clorofila Minolta SPAD-502 previamente calibrado y midiendo directamente cinco lecturas en diferentes nomófilos de la planta para obtener el promedio respectivo, es importante resaltar que este método no es destructivo. Rendimiento semilla, cuando ésta alcanzó la madurez fisiológica y un porcentaje de humedad de 13%, se pesó el total de semillas, separadas de las valvas de la vaina y expresar el resultado en g planta⁻¹.

Biomasa seca total y su distribución, sometiendo a secado hasta alcanzar el peso constante las estructuras: tallos, nomófilos, valvas y semilla. Índice de cosecha, por medio de la ecuación $IC = \left(\frac{RA}{RB}\right) \times 100$. Donde: IC= índice de cosecha; RA= rendimiento agronómico (peso de ejote y semilla); y RB= rendimiento biológico (biomasa total). Unidades calor, evaluadas por medio del método residual de Snyder (1985), citado por Díaz *et al.* (2010b) $UC = \left(\frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}\right) - T_b$. Donde: UC= a las unidades calor; $T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$ = a las temperaturas máxima y mínima respectivamente; y T_b = temperatura base de frijol de 8 °C.

Evapotranspiración, por la relación $ET_c = (E_v) (K_e) (K_c)$. Donde: ET_c = a la evapotranspiración en mm; E_v = a la evaporación del tanque tipo 'A'; K_e = al coeficiente del evaporímetro de tanque (0.6); y K_c = al coeficiente del cultivo (0.8) (Doorenbos y Pruitt, 1986). Para tener un mejor control del experimento, se midieron las variables meteorológicas: temperatura máxima y mínima, así como la precipitación total durante el ciclo ontogénico del cultivo, con ayuda de una estación meteorológica automatizada modelo Vantage Pro-2.

Debido a que el germoplasma está adaptado a las condiciones de los valles centrales de Oaxaca, bajo las condiciones ecológicas del Valle de Tehuacán, se evaluó el porcentaje de incidencia de la enfermedad bacteriosis del frijol (*Xantomonas axonopodis* pv. *Phaseoli* (Xap) (Smith), realizando cuatro muestreos durante el ciclo ontogénico del cultivo a 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra.

Los cálculos de incidencia se realizaron mediante la ecuación $I = \left[\frac{PE}{TP}\right] \times 100$. Donde: I= porcentaje de incidencia; PE= plantas enfermas; y TP= total de plantas, para expresar el resultado en porcentaje. Cuando las variables respuesta resultaron significativas, se les aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey a un nivel de significancia de 5% de probabilidad de error.

Resultados y discusión

Diagrama ombrotérmico

El diagrama ombrotérmico se presenta en la Figura 1. En él se aprecia que la temperatura máxima osciló entre 34.5 y 30.2 °C, presentándose la máxima durante la segunda decena del mes de agosto. Por su parte la temperatura mínima varió en un rango de 17.9 y 16 °C. Esta oscilación entre la máxima y mínima concuerdan con la nomenclatura de la familia climática de la zona, que indica que la oscilación es mayor a 7 °C y menor a 14 °C. Respecto a la precipitación, la suma total durante el ciclo de cultivo fue de 170.4 mm, motivo por el cual se tuvo que aplicar dos riegos de auxilio, durante la antesis y el llenado de grano en la segunda decena de los meses de julio y agosto coincidiendo así con la sequía intraestival.

De este modo 56.9% de la precipitación coincidió con el periodo vegetativo del cultivo y el resto en la etapa reproductiva 43.1%. Bajo estas condiciones el cultivo alcanzó la madurez fisiológica para ejote y grano sin problemas, siendo que las condiciones ecológicas de Valle de Tehuacán son contrastantes y difieren a la de los Valles Centrales de Oaxaca.

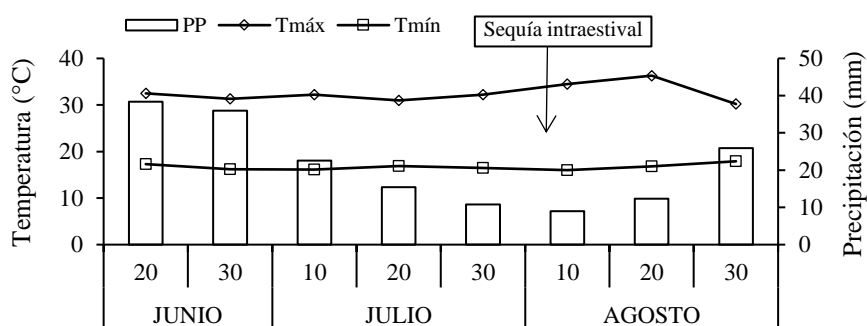


Figura 1. Diagrama ombrotérmico para el ciclo ontogénico de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha. Universidad Tecnológica de Tehuacán ciclo primavera-verano, 2020. Tmáx y Tmín= temperaturas máxima y mínima.

Rendimiento agronómico, biológico e índice de cosecha

El análisis de varianza para las variables rendimiento agronómico, biológico e índice de cosecha se presenta en el Cuadro 1. En él se aprecia que el rendimiento agronómico y biológico fue altamente significativos, mientras que el índice de cosecha resultó no significativo a pesar de existir diferencias numéricas. Con relación al coeficiente de variabilidad, éste osciló entre 5.09 y 12.8% para los rendimientos biológico y agronómico, que indica la confiabilidad de los datos, mientras que, para el índice de cosecha, este fue 16.74%.

Cuadro 1. Análisis de varianza y prueba de comparación múltiple, para frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha bajo cuatro niveles de nitrógeno.

Tratamiento (kg ha ⁻¹ N)	RA		IC
	(g planta ⁻¹)		
T ₀	4.68 b	15.32 c	0.3 a
T ₁	6.97 ab	17.91 b	0.38 a
T ₂	8.74 a	22.15 a	0.36 a
T ₃	7.09 a	19.88 b	0.35 a
DSH	1.94**	2.11**	0.12 ^{ns}
CV (%)	12.8	5.09	16.74

Medias dentro de columnas con la misma literal estadísticamente son iguales según Tukey a $p \leq 0.05$ de error. RA= rendimiento agronómico; RB= rendimiento biológico; IC= índice de cosecha; T₀, T₁, T₂ y T₃= tratamientos; DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variabilidad; **, *, ns= significativo al 0.01, 0.05 y no significativo. Universidad Tecnológica de Tehuacán. Ciclo primavera-verano, 2020.

Respecto a la comparación múltiple para los parámetros: rendimiento agronómico y biológico, se observa que el mayor rendimiento de semilla fue en los niveles altos de nitrógeno T₂ y T₃, con 8.74 y 7.09 g planta⁻¹ resultando además estadísticamente iguales, mientras que para el rendimiento biológico, el valor más alto fue en T₂ con 22.15g planta⁻¹. Por el contrario, los menores rendimientos agronómicos y biológicos fueron para el testigo T₀ y T₁, resultando desde el punto de vista estadístico iguales con 4.68 y 6.97 g planta⁻¹. El rendimiento biológico presentó los valores más bajos en el testigo con 15.32 g planta⁻¹.

Lo reportado en este estudio difiere con lo reportado por Apáez *et al.* (2011), quienes mencionan que el rendimiento de semilla de frijol chino sembrado bajo el sistema de espaldera en clima cálido fue $5.48 \text{ g planta}^{-1}$, 37.3% menos que lo obtenido en esta investigación, hechos que son atribuidos a los diferentes genotipos utilizados, a pesar de ser ambos materiales de crecimiento indeterminado.

Por su parte Maqueira *et al.* (2017), al trabajar con un cultivar de frijol negro diferente al cv. Rocha en la localidad de los palacios Cuba, reportan un rendimiento agronómico de $5.55 \text{ g planta}^{-1}$, 36.5% menor rendimiento que el cv. Rocha. Estos resultados demuestran la amplia plasticidad fenotípica del material genético de la presente investigación para adaptarse a las condiciones del Valle De Tehuacán, al producir altos rendimientos de semilla.

Unidades SPAD

La dinámica de las unidades SPAD para los nomófilos del frijol, se presentan en la Figura 2. En ella se puede apreciar que éstas presentaron un comportamiento ascendente de 15 a los 60 días después de la siembra, siendo esta última fecha donde se alcanzó la máxima expresión de las unidades SPAD, 60, 56, 45 y 37 para 150, 100, 50 y 0 kg de N, respectivamente, ajustándose estos a un modelo cuadrático, lo que coincide con lo reportado por Ribeiro *et al.* (2015), quienes al trabajar con *Lisianthus*, bajo diferentes dosis de nitrógeno encontraron que, el comportamiento de las unidades SPAD, fue polinómico de segundo grado a pesar de ser especies diferentes.

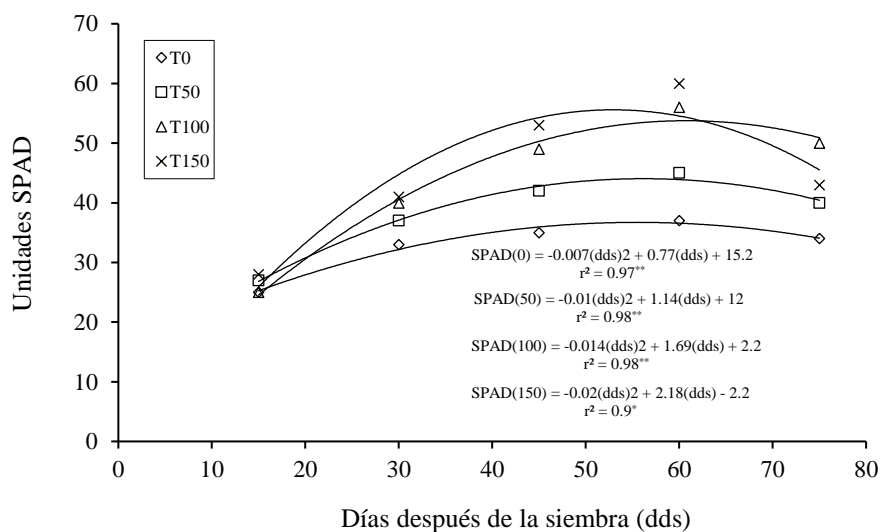


Figura 2. Dinámica de las unidades SPAD en frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), bajo cuatro niveles de nitrógeno a 15, 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra. Universidad Tecnológica de Tehuacán, 2021.

A esta última fecha ocurrió el punto de inflexión que marcó el inicio de la disminución en las unidades SPAD. Este comportamiento se atribuye a que, en especies como el frijol, la senescencia de los nomófilos es un fenómeno típico, donde la lámina foliar cae por la síntesis de ácido abscísico, además de perder clorofila, que induce la disminución de unidades SPAD, provocadas por la nula síntesis de clorofila (Zavala *et al.*, 2011)

Distribución de biomasa aérea

La distribución de la biomasa aérea para semilla, tallos y valvas es presentada en la Figura 3. Se puede observar que el mayor porcentaje de biomasa fue asignado a los tallos de la planta para los cuatro tratamientos, con valores que oscilan entre 68.4 y 73.55%. De estos el testigo fue quien acumuló la mayor cantidad de biomasa en el tallo, mientras que la aplicación de 50 kg ha⁻¹ de nitrógeno (T₂) fue quien acumuló la menor cantidad de biomasa 68.4%. El porcentaje de acumulación de materia seca para semillas demostró que los tratamientos T₁ y T₂, asimilaron un 28 y 28.2% respectivamente y el tratamiento testigo solo logro captar un 23.4%.

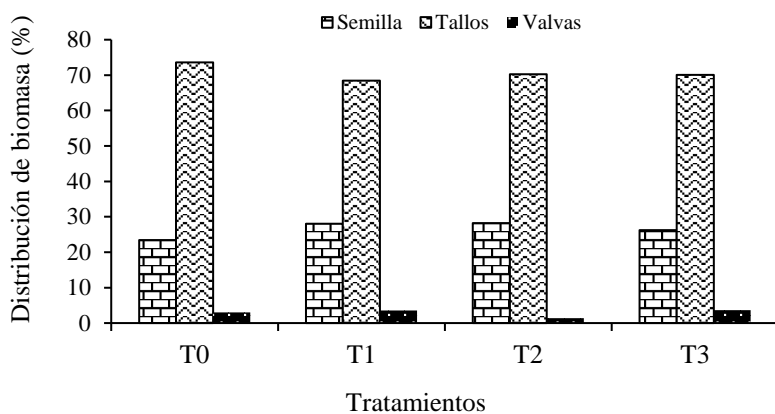


Figura 3. Distribución de la biomasa en la parte aérea en frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha bajo cuatro niveles de nitrógeno. Universidad Tecnológica de Tehuacán. Ciclo primavera-verano, 2020.

La estructura que menos biomasa acumuló fueron las valvas, cuyos valores se movieron en un rango de 1.42 y 3.67%, siendo T₂ quien menor biomasa acaparó en estas estructuras. Por otra parte, Romero *et al.*, (2021), reportaron valores de 22% y 19% de biomasa en antesis y biomasa a la floración, en frijoles de crecimiento tipo I y con 80 unidades de nitrógeno por hectárea. Como se aprecia este material genético, es un germoplasma que logra asignar casi un tercio de la biomasa producida en la fotosíntesis, como se muestra en la gráfica y en el índice de cosecha.

Unidades calor

Las unidades calor del ciclo de cultivo de siembra a cosecha se presentan en la Figura 4. Se puede apreciar que las unidades calor se ajustaron a un modelo lineal creciente, con una acumulación total de 1 322, de las cuales 608.21 °C día⁻¹ correspondieron a la fase vegetativa Vn, floración (F) 74.41, producción de vainas (PV) 297.83 y producción de grano (PG) 341.54 °C día⁻¹ respectivamente. En relación con el modelo matemático, la pendiente de la curva de grado uno 14.89 UC dds⁻¹, indicó que por cada día después de la siembra (dds), el cultivar de frijol Rocha acumula 14.89 °C.

Respecto al coeficiente de determinación este resultado altamente significativo $r^2 = 0.99^{**}$, al demostrar que 99% de las unidades calor (UC), son debido al paso de los días después de la siembra. Este comportamiento en la acumulación de calor por la planta ha sido demostrado por Escalante *et al.* (2001), que reportan una integral térmica de 1 440 UC durante un ciclo de verano como el que se estudió aquí y de igual modo informan, que la diferencia en la acumulación de unidades calor, está en función del tipo de genotipo, clima y fecha de siembra.

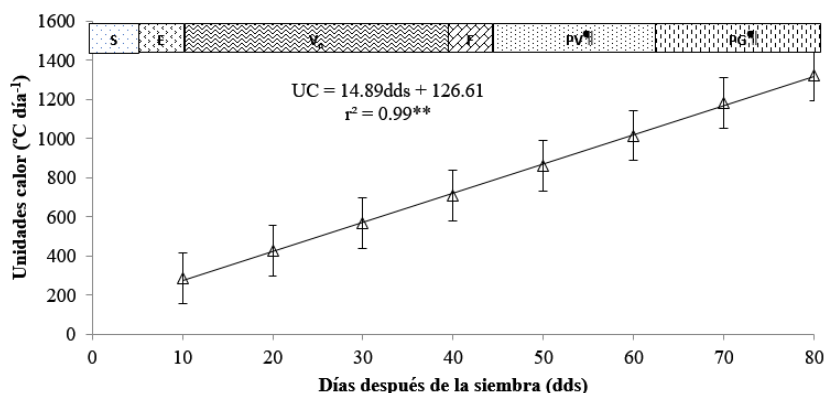


Figura 4. Unidades calor acumuladas durante el ciclo ontogénico de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha. Universidad Tecnológica de Tehuacán. Ciclo primavera-verano, 2020. UC= unidades calor; dds= días después de la siembra; **, *, ns= significativo al 0.01; 0.05 y no significativo. S= siembra; E= emergencia; Vn= fase vegetativa; F= floración; PV= producción de vainas; y PG= producción de grano.

Evaporación

La evaporación para el ciclo de cultivo verano-otoño del cv. Rocha se presenta en la Figura 5. En ella se puede apreciar que se ajustó a un modelo cuadrático y resultando ser significativo. Así los valores más altos de evaporación ocurrieron a los 70 días después de la siembra (dds). Esta dinámica coincidió con los máximos valores de temperatura durante el ciclo de cultivo, que fueron resultado de la sequía intraestival la cual se presentó a 60 dds, como se muestra en la Figura 4.

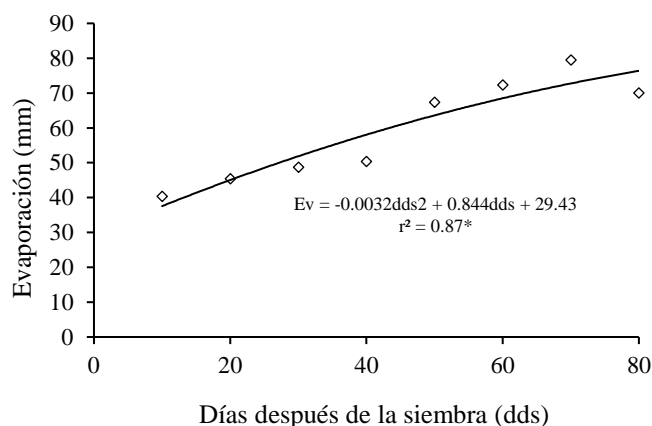


Figura 5. Evaporación durante el ciclo ontogénico de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha. Universidad Tecnológica de Tehuacán. Ciclo primavera-verano, 2020. Ev= evaporación; dds= días después de la siembra; **, *, ns= altamente significativo, significativo, no significativo.

Por el contrario, los valores mínimos se presentaron en las etapas tempranas del cultivo (fase vegetativa) y fueron resultado, de la nubosidad presente en dicha fase, lo que provocó que la radiación solar evitara valores altos de evaporación, ya que este proceso depende en gran medida de la energía radiante del sol, para que el agua cambie de estado de agregación de líquido a gas (FAO, 1990).

Evapotranspiración

La evapotranspiración fue un reflejo de la evaporación *per se*, el modelo de ajuste fue cuadrático. De este modo la variable ecofisiológica fue creciente de los 10 a los 50 dds, siendo esta última fecha el punto de inflexión para de crecer hasta los 80 dds. La suma de la evapotranspiración total del ciclo de cultivo fue de 217.94 mm de emergencia hasta la senescencia de nomófilos.

Autores como Morales *et al.* (2017), mencionan que la evapotranspiración en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es de 327 mm bajo clima tropical y con la aplicación de quitosano, que es un aminopolisacárido derivado de la quitina, que se usa en los cultivos para aminorar la evapotranspiración, lo que difiere con los datos de este estudio. Por su parte González *et al.* (2017), reportan una ETc en el cultivo de frijol de 251.77 mm, 13.44% más agua evapotranspirada que en el presente estudio. Este incremento en la evapotranspiración de ambos estudios se atribuye a los diferentes climas y tipos de suelos en los cuales fueron desarrollados ambos estudios (Figura 6).

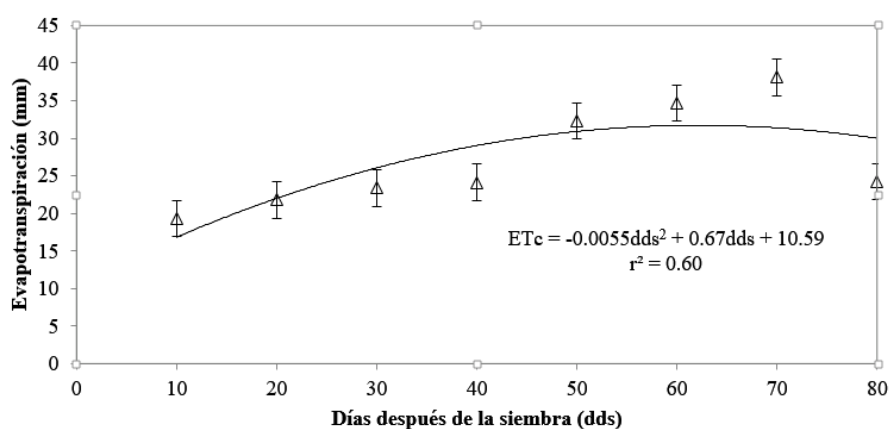


Figura 6. Evapotranspiración durante el ciclo ontogénico de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Rocha. Universidad Tecnológica de Tehuacán. Ciclo primavera-verano, 2020. ETc= evapotranspiración; dds= días después de la siembra; **, *; ns= altamente significativo, significativo y no significativo.

Porcentaje de incidencia de bacteriosis del frijol

En la Figura 7, se presenta el análisis de varianza, así como la prueba de comparación múltiple, para porcentaje de incidencia de la bacteriosis del frijol (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith). En ella se puede apreciar que existieron diferencias altamente significativas a 30, 45 y 60 dds. La prueba de comparación de medias demostró que el tratamiento testigo fue quien presentó la mayor incidencia con: 1.23, 1.63 y 2.06%, a 45 días después de la siembra. Los tratamientos T₂ y T₃, presentaron los niveles más bajos de incidencia de la enfermedad.

Estos resultados demuestran que el cv. Rocha es un genotipo que, a pesar de presentar la enfermedad, la incidencia de esta no rebasa 2.5%, siendo este un material genético que puede recomendarse para la zona, al resistir la incidencia de la bacteriosis del frijol. Los datos presentados en este estudio difieren con los reportados por Rodríguez *et al.* (2015), quienes reportan una incidencia de la bacteriosis del frijol que oscila entre 4 a 8% a pesar de ser genotipos de semilla negra ambos, esta diferencia se atribuye a que el experimento llevado a cabo en condiciones ecológicas de Cuba, donde la humedad relativa no disminuía de 80%, factor ambiental que influyó de manera significativa en la incidencia de la enfermedad.

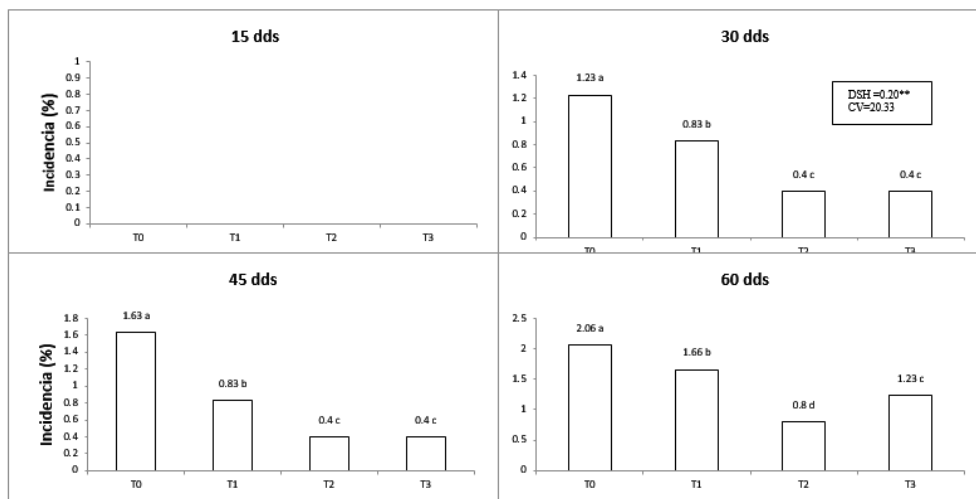


Figura 7. Incidencia de bacteriosis del frijol (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* Smith) a 15, 30, 45 y 60 días después de la siembra (dds). T₀, T₁, T₂ y T₃, tratamientos; **, *, ns= significativo al 0.01; 0.05 y no significativo. Universidad Tecnológica de Tehuacán, 2020.

Conclusiones

El máximo rendimiento agronómico y biológico, se alcanzó con la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno. Respecto a la distribución de biomasa, la mayor asignación de esta fue al vástago de la planta, que en el resto de los órganos de la planta. La madurez fisiológica para grano se logró con una integral térmica de 1 322 UC. Respecto al total de agua evapotranspirada, el ciclo de cultivo se cumplió con una lámina de 217.94 mm. El fertilizante nitrogenado que se recomienda para las condiciones edáficas del Valle de Tehuacán es sulfato de amonio, por su aporte de azufre que ayuda a modificar la reacción del suelo.

El cultivar de frijol Rocha proveniente de los Valles Centrales de Oaxaca, demostró poseer una amplia plasticidad fenotípica, para adaptarse a las condiciones del Valle de Tehuacán, Puebla. A pesar de presentarse la bacteriosis del frijol, esta no fue determinante para afectar al cultivo. El cultivar de frijol negro cv. Rocha, puede ser una alternativa de cultivo para los productores de frijol del Valle de Tehuacán, Puebla.

Literatura citada

- Apáez, B. P.; Escalante, E. J. A. S. y Rodríguez, G. M. T. 2011. Crecimiento y rendimiento de frijol chino en función del tipo de espaldera y clima. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 13(3):307-315.
- Aramaméndiz, T. H.; Espítia, C. M. y Cardona, A. C. 2017. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de frijol caupí en el caribe húmedo colombiano. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 15(2):14-22. Doi://dx.doi.org/10.18684/bsaa(v15)EdiciónEspecialn2.574.
- Bennink, M. 2005. Eat beans for good health. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 48:1-5.
- Caballero, M. C. 1990. Calve de clasificación de suelos FAO-UNESCO. UNAM. 1-3 pp. <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/GuiaNotasEdaf-Clave.pdf>.

- Cochran, G. C. y Cox, M. G. 2005. Diseños experimentales. Ed. Trillas. 4^{ta}. Edición. México. 661 p.
- Díaz, L. E.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T. y Gaytán, A. A. 2010a. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Rev. Chapingo Serie Horticultura. 16(3):215-221.
- Díaz, L. E.; Morales, R. E. J.; Franco, M. O. y Domínguez, L. A. 2010b. Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. Terra latinoamericana. 29(1):65-72.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. 1986. Las necesidades de agua por los cultivos. Riego y drenaje. Manual 24. Food and agricultural organization. Rome, Italy. 20-28 pp.
- Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T. y Escalante, E. Y. 2015. Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. Bioagro. 27(2):75-82.
- Escalante, E. J. A. S.; Escalante, E. L. E. y Rodríguez, G. M. T. 2001. Producción de frijol en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. Terra Latinoamericana. 19(4):309-315.
- Escalante, E. J. A y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo. 84 p.
- FAO. 1990. Food and Agriculture Organization. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje. 56-322 pp.
- García, A. E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. 5^{ta}. Ed. Instituto de geografía. UNAM. 90 p.
- Genchev, D. and KiryaKov, I. 2005. Color scales, for identificación characters of common bean (*Phaseolus vulgaris* L) dobroudja agricultural institute, toshevo. 31 p.
- González, C. O.; Abreu, C. B.; Herrera, S. M. y López, B. E. 2017. Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric cambisol. Rev. Cienc. Técn. Agropec. 26(1):70-77. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v26n1/rcta09117.pdf>
- Kohashi, S. J. 1996. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. 2^{da}. Ed. 44 p.
- Maqueira, L. L. A.; Rojan, H. O.; Pérez, M. S. A. y Torres, N. W. 2017. Crecimiento y rendimiento de cultivares de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de los palacios. Cultivos Tropicales. 38(3):58-63.
- Márquez, S. F. 1990. Genotécnia vegetal. Tomo I. Métodos, teoría y resultados. AGT. México, D. F. 1550 p.
- Morales, G. D.; Dell'amico, R. J.; Jeréz, M. E.; Rodríguez, H. P.; Álvarez, B. I.; Díaz, H. Y.; Roberqui, M. M. 2017. Efecto del quitomax en plantas de (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidas a dos regímenes de riego. II. Variables fisiológicas. Cultivos Tropicales. 92-101 pp. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193254602011.pdf>.
- NOM-021-RECNAT. 2000. Norma oficial mexicana. Que establece las especificaciones de fertilidad. Salinidad y clasificación de suelos, muestreos y análisis. 73 p.
- Pliego, M. L.; López, B. J. y Aragón, R. E. 2013. Características físicas, nutricionales y capacidad germinativa de frijol criollo bajo estrés hídrico. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6(esp.):1197-1209. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263128353011.pdf>.
- Ribeiro, D. A.; Katz, I.; Padua, S. A. y Martínez, U. R. A. 2015. Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plántulas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. IDESIA. 33(2):97-105.

- Rodríguez, M. O.; Fauré, A. B.; Ortíz, P. R.; Miranda, L. S. y Lamz, P. A. 2015. Respuesta a bacteriosis común (*Xanthomonas axonopodis p.v phaseoli*) En los cultivares comerciales de frijol común de cuba, en condiciones de campo. Afectación de los rendimientos por efecto de la inoculación. Cultivos tropicales. 36(2):92-99.
- Romero, F. C. S.; López, C. C.; Kohashi, S. J.; Martínez. R. C. G.; Miranda, C. S. y Aguilar, R. V. H. 2021. Rendimiento y biomasa acumulada en frijol común bajo riego y seco. Rev. Mexic. Cienc. Agríc. 12(8):1363-1376.
- Steel, G. D. R. y Torrie, H. J. 1998. Bioestadística: principios y procedimientos. Mc Graw Hill. 2^{da}. Ed. México, DF. 622 p.
- Zavala, E. F.; Maldonado, T. R.; Sandoval, V. M.; Álvarez, S. M. E.; Colinas, L. M. T. y Ramírez, V. P. 2011. Cambios morfológicos y fisiológicos en hojas de frijol tolerante y susceptible a deficiencias de hierro. Terra latinoamerica. 29(3):267-276.