

Caracterización y predicción fenológica de genotipos de frijol negro tropical

Héctor Daniel Inurreta-Aguirre^{1,§}

Oscar Hugo Tosquy-Valle¹

Víctor Manuel Rodríguez-Moreno²

Francisco Javier Ibarra-Perez¹

Rigoberto Zetina-Lezama¹

1 Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 91700.

2 Campo Experimental Pabellón-INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. CP. 20678.

Autor para correspondencia: inurreta.hector@inifap.gob.mx.

Resumen

La caracterización fenológica de las variedades de frijol negro generadas por el Programa de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias para el sureste de México se realiza cuantificando el número de días después de siembra requerido para alcanzar las distintas etapas de desarrollo. Esta caracterización es imprecisa en ambientes contrastantes. El objetivo de este estudio fue caracterizar nueve líneas avanzadas y dos variedades de frijol negro opaco, utilizando el número de días después de siembra y el índice grados-días-de-desarrollo necesarios para alcanzar las etapas de floración y madurez fisiológica, además de comparar la precisión del número de días después de siembra y grados-días-de-desarrollo para predecir la fenología. Se cuantificaron el número de días después de siembra y grados-días-de-desarrollo requeridos por los genotipos para alcanzar las etapas de floración y madurez fisiológica en nueve ambientes del sureste de México. Se evaluó la capacidad de cinco modelos mixtos, considerando del número de días después de siembra, grados-días-de-desarrollo y el ambiente como efectos fijos y el genotipo como efecto aleatorio, para predecir las etapas fenológicas de las líneas y variedades. Cuatro líneas fueron más precoces que Negro Grijalva (1 892 grados-días-de-desarrollo), con un promedio de 1 859 grados-días-de-desarrollo, mientras que otras cuatro obtuvieron un promedio de 1 902 grados-días-de-desarrollo, valor superior a Negro Grijalva pero inferior a Negro Comapa (1 920 grados-días-de-desarrollo) y sólo una línea fue más tardía que ambas variedades (1 976 grados-días-de-desarrollo). El mejor modelo para predecir la fenología fue el que consideró únicamente los grados-días-de-desarrollo, sin importar el ambiente. Se concluyó que los grados-días-de-desarrollo son más precisos que el número de días después de siembra para predecir la floración y madurez fisiológica de los genotipos en los distintos ambientes de evaluación.

Palabras clave:

Phaseolus vulgaris L., etapas de desarrollo de cultivos, temperatura del dosel, unidades calor.



Introducción

En el Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se desarrollan variedades mejoradas de frijol negro para las áreas tropicales y subtropicales del sureste de México, principalmente para los estados de Veracruz y Chiapas. La selección se orienta a los sistemas predominantes: siembras de verano bajo temporal y de otoño-invierno con humedad residual. Por ello, los genotipos candidatos deben mostrar adaptación y ser preferentemente de ciclo precoz a intermedio para reducir el riesgo por sequía terminal (Tosquy *et al.*, 2014), tolerantes a las principales enfermedades fungosas y virales, y de calidad comercial acorde con la preferencia regional por grano negro opaco y pequeño (FIRA, 2016). Para integrar estos atributos se incorpora germoplasma de diversos orígenes y se aplica un proceso escalonado de selección, con miras a identificar líneas con potencial de liberación comercial.

La fenología se describe usando los días después de siembra (DDS) desde la emergencia (V0) hasta que el cultivo alcanza una etapa definida. En frijol, la floración y la madurez fisiológica determinadas por la primera flor abierta y por el cambio de coloración de las vainas, respectivamente (Fernández, 1986), son etapas clave para el rendimiento de grano. Sin embargo, los DDS requeridos por un mismo genotipo varían entre ambientes, lo que limita su capacidad para comparar respuestas y anticipar el desempeño fenológico en condiciones contrastantes. Una alternativa es el uso del tiempo térmico, que vincula el desarrollo con la temperatura por encima de una temperatura base (Bonhomme, 2000).

Los grados-día de desarrollo (GDD) constituyen el índice más utilizado para cuantificar ese tiempo térmico (Ahmad *et al.*, 2017). Se ha indicado que el uso de la temperatura del dosel, en lugar de la temperatura del aire, puede mejorar la simulación fenológica (Neukam *et al.*, 2016). Evaluar la utilidad de los GDD, frente a los DDS, aporta bases para pronosticar etapas críticas, planear prácticas de manejo y fortalecer la toma de decisiones en la selección y liberación de variedades (Paleari *et al.*, 2020).

El objetivo del presente estudio fue caracterizar un grupo de genotipos de frijol negro por la cantidad de DDS y GDD que requieren para alcanzar las etapas de floración y madurez fisiológica en áreas tropicales de Veracruz y Chiapas, México, así como determinar la capacidad de los GDD, para predecir el tiempo en alcanzar estas dos etapas fenológicas, en comparación con los DDS.

Materiales y métodos

En el estudio se analizaron los valores promedios de días después de siembra (DDS) a floración y a madurez fisiológica de nueve líneas avanzadas de frijol negro opaco y pequeño, generadas por el Programa Nacional de Frijol del INIFAP: tres derivadas de Negro Citlali/XRAV-187-3, tres de Negro Papaloapan/SEN 46 y tres de Jamapa Plus/XRAV-187-3. También se incluyeron las variedades Negro Grijalva y Negro Comapa, por su adaptación y desempeño en áreas tropicales (Villar *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012). Los datos provinieron de un ensayo uniforme de rendimiento conducido en nueve ambientes en tres de Chiapas y seis de Veracruz (Tosquy *et al.*, 2019).

Las características de estos ambientes de evaluación se muestran en el Cuadro 1. La información climática utilizada para el cálculo térmico se obtuvo de una serie de tiempo global con datos mensuales de temperatura promedio del aire y precipitación total (1901-2014, resolución espacial 0.5°), con la que se conformó una malla e interpolaron valores para cada sitio (Willmott y Matsuura, 2005; Willmott y Matsuura, 2009). La altura del dosel se registró al momento de las evaluaciones fenológicas en 10 plantas al azar por genotipo y su valor diario se estimó mediante regresión lineal.

Para obtener la cantidad de GDD que se requiere para alcanzar las etapas fenológicas en los genotipos de frijol, se utilizó la temperatura diaria del dosel, la cual se estimó de manera indirecta como lo proponen Seguin e Itier (1983) con la siguiente fórmula:

$$T_{dosel} = T_{aire} + \frac{RadS(2.46 - ET - 1.27)}{1.68 \ln(10.13 * Altcult)}$$

Donde: Tdosel = temperatura de dosel (°C); Taire= temperatura del aire (°C); RadS= radiación solar (MJ m⁻²); ET= evapotranspiración (mm); y Altcult= altura de dosel del cultivo (cm).

Cuadro 1. Localización y características de los sitios experimentales donde se condujo el ensayo uniforme de rendimiento en Chiapas y Veracruz. Ciclos de verano 2016, otoño-invierno 2016-2017 e invierno-primavera 2017.

Ambiente	Localidad	Municipio	Estado	Altitud (m)	Ciclo/año	Condición ambiental	Clima
NM1	Nuevo México	Villaflores	Chiapas	660	V/2016	T-pH>5.6-CD	Aw0
NM2	Nuevo México	Villaflores	Chiapas	660	V/2016	T-pH<4.4	Aw0
VC	Venustiano Carranza	Ocozocoautla	Chiapas	597	OI/2016-17	HR	Aw2
RG	Rincón Grande	Orizaba	Veracruz	1 248	OI/2016-17	HR	Cfb
ER1	El Rubí	Medellín	Veracruz	22	OI/2016-17	HR	Aw1
ITA1	ITA-JRC	Rodríguez Clara	Veracruz	133	OI/2016-17	HR-pH>6.1-CD	Aw1
ITA2	ITA-JRC	Rodríguez Clara	Veracruz	133	OI/2016-17	HR-pH<4.7	Aw1
CEI	CEIXTA	Tlapacoyan	Veracruz	88	OI/2016-17	HR	Cfa
ER2	El Rubí	Medellín	Veracruz	22	IP/2017	ST	Aw1

ITA-JRC= Instituto Tecnológico Agropecuario de Juan Rodríguez Clara; CEIXTA= Campo Experimental Ixtacuaco; V= ciclo de verano. OI= ciclo de otoño-invierno; IP= ciclo de invierno-primavera; T= temporal. HR= humedad residual; ST= sequía terminal; CD= con aplicación de cal dolomita; Aw0= clima cálido subhúmedo con el régimen de humedad más seco; Aw1= clima cálido subhúmedo con régimen de humedad intermedio; Aw2= clima cálido subhúmedo con régimen de humedad más húmedo; Cfb= clima oceánico templado; Cfa= clima subtropical húmedo.

Para cada ambiente se determinó la acumulación diaria de grados-día de desarrollo (GDD) como (temperatura del dosel-temperatura base), con temperatura base= 10 °C (Rai *et al.*, 2020) y se estimó el GDD requerido para alcanzar floración y madurez fisiológica de cada genotipo, así como el DDS correspondiente. Para comparar DDS y GDD como predictores se ajustaron cuatro modelos mixtos, considerando genotipo como efecto aleatorio y como efectos fijos: 1) DDS + ambiente, 2) DDS, 3) GDD + ambiente y 4) GDD; se incluyó un modelo nulo como referencia. Los modelos se compararon mediante el criterio de información de Akaike (AIC) (Akaike, 1998).

Resultados y discusión

Patrones fenológicos (DDS vs GDD)

En las Figuras 1 a 4 se muestran, para cada línea avanzada y variedad, los DDS y GDD requeridos para alcanzar la floración y la madurez fisiológica en los distintos ambientes de evaluación (Cuadro 1). Para facilitar la comparación entre índices, los valores se expresan como porcentaje del máximo registrado en DDS y en GDD.

En la cruce Negro Citlali/XRAV-187-3, la línea 1-8 fue la más precoz para floración y madurez, mientras que la 1-6 presentó el mayor tiempo a madurez (Figura 1). En la cruce Jamapa Plus/XRAV-187-3, la línea 1-8 destacó por su precocidad a floración y 4-4 por el menor intervalo floración-madurez; en contraste, la línea 1-2 fue el genotipo más tardío (Figura 2). En Negro Papaloapan/SEN-46, la línea 3-7 mostró los menores requerimientos y 7-7 los mayores, tanto en DDS como en GDD (Figura 3).



Figura 1. Porcentaje de DDS y GDD que se requirieron para alcanzar las etapas de floración y madurez fisiológica de las líneas derivadas de la cruz Negro Citlali/XRAV-187-3 en los diferentes ambientes de evaluación (Cuadro 1).

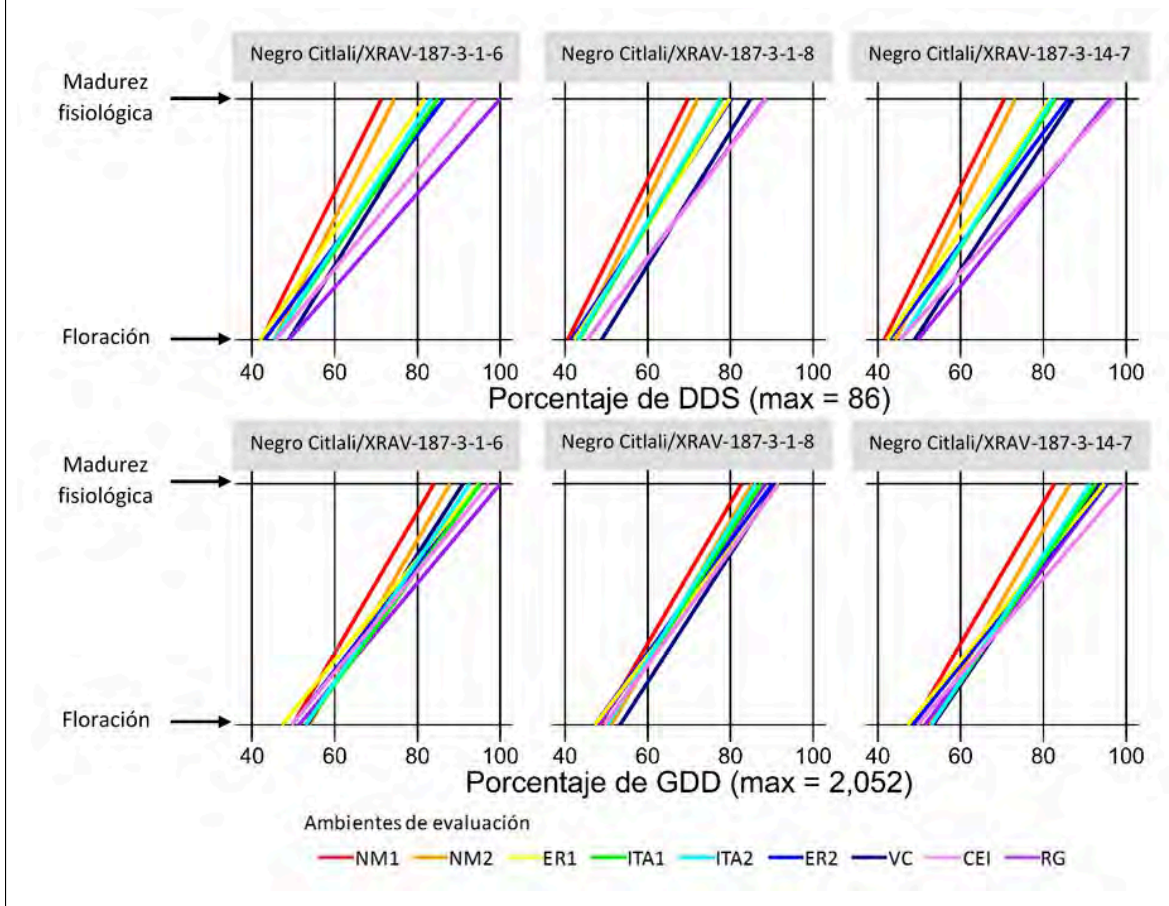


Figura 2. Porcentaje de DDS y GDD que se requirieron para alcanzar la floración y madurez fisiológica de las líneas derivadas de la crucea Jamapa Plus/XRAV-187-3 en los diferentes ambientes de evaluación (Cuadro 1).

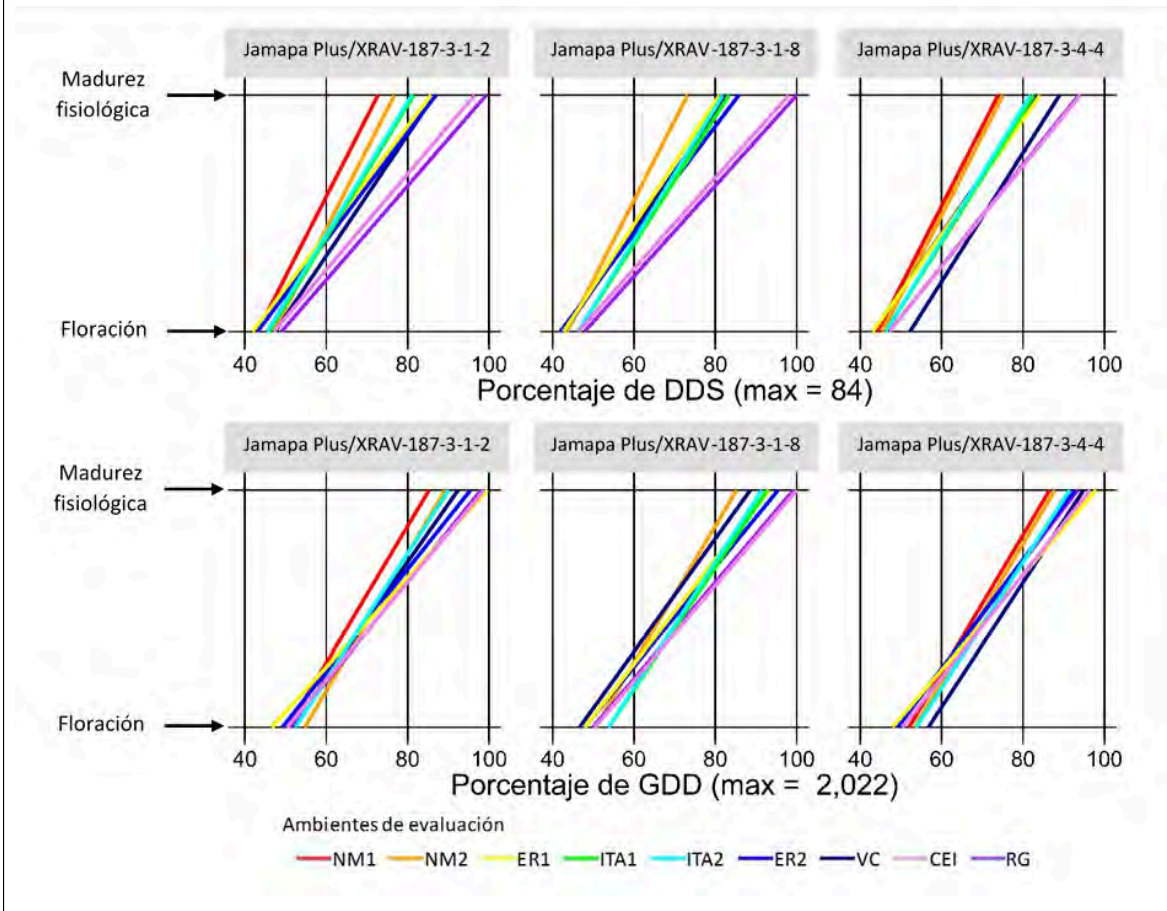
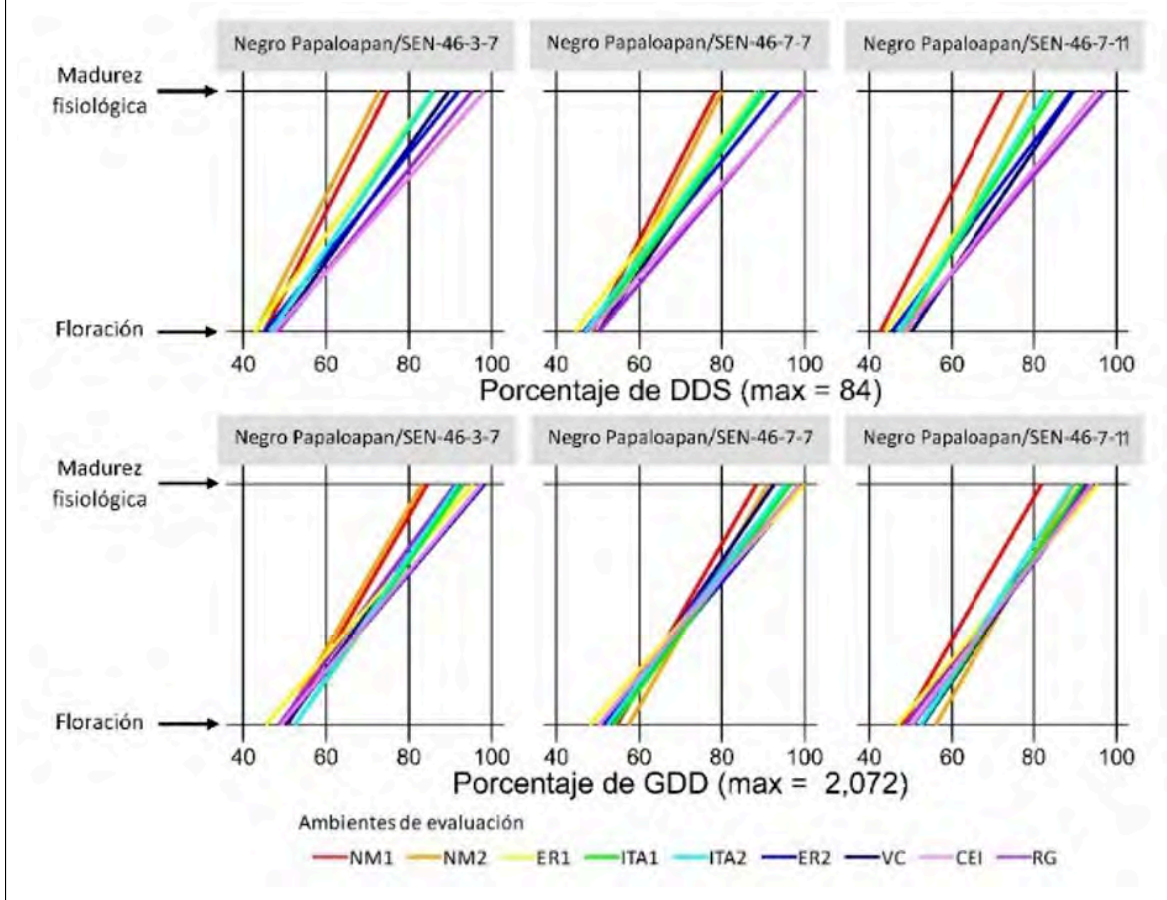
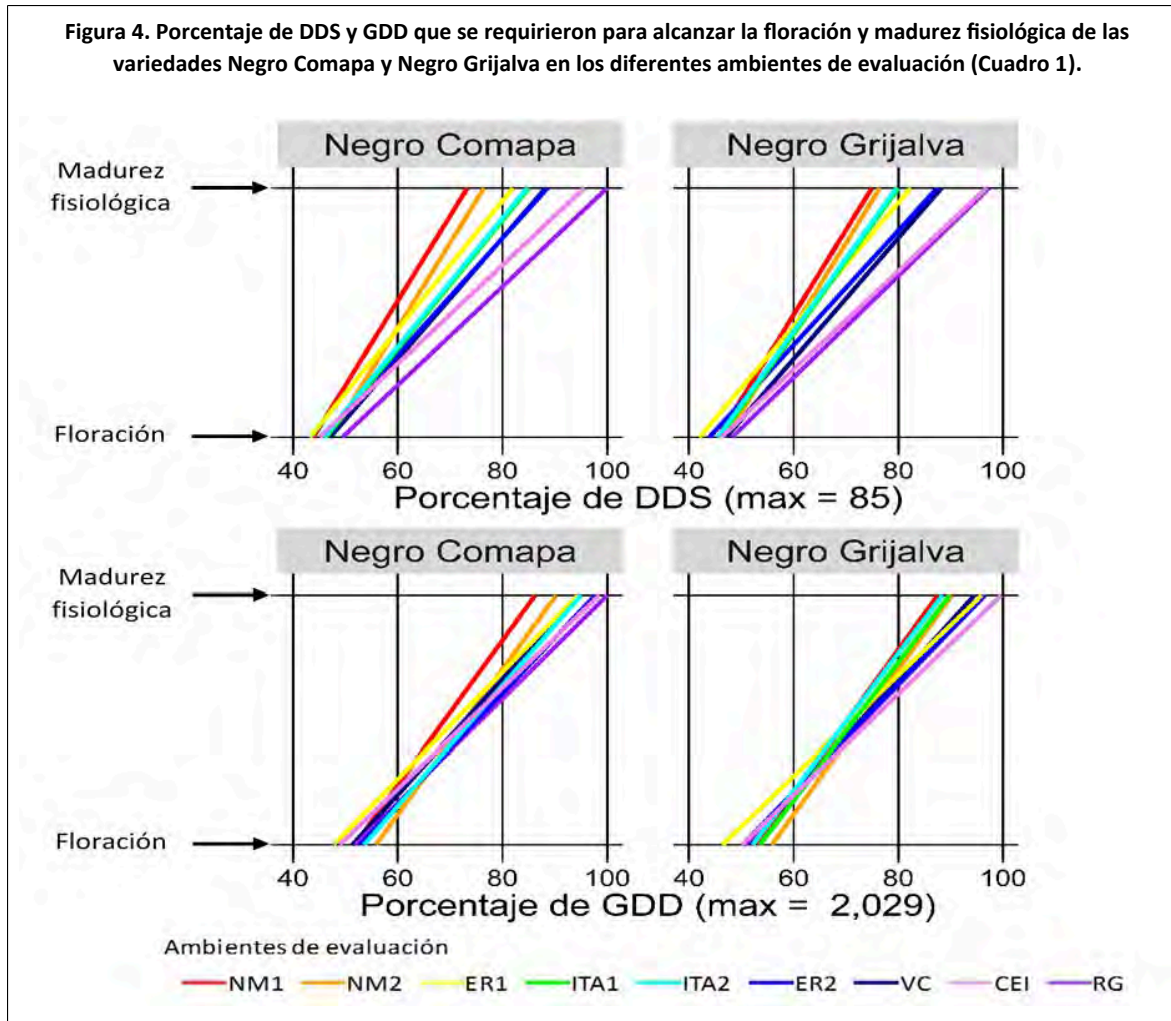


Figura 3. Porcentaje de DDS y GDD que se requirieron para alcanzar la floración y madurez fisiológica de las líneas derivadas de la cruz Negro Papaloapan/SEN-46 en los diferentes ambientes de evaluación (Cuadro 1).



Entre las variedades comerciales, Negro Grijalva fue consistentemente más precoz que Negro Comapa (Figura 4), tal como se ha documentado en evaluaciones previas (Villar *et al.*, 2009; López *et al.*, 2012). Esta precocidad es agrónomicamente relevante por su asociación con el escape a sequía terminal en siembras de humedad residual del ciclo otoño-invierno (López *et al.*, 2011), condición que puede ocasionar pérdidas severas de rendimiento (Tosquy *et al.*, 2014). En conjunto, ambas variedades variaron de 36-42 DDS (941-1 132 GDD) a floración y de 62-85 DDS (1 750-2 029 GDD) a madurez fisiológica (Figura 4).





De forma consistente, los DDS mostraron mayor dispersión que los GDD en todos los genotipos, ya que los GDD integran el avance del tiempo ajustado por la temperatura del dosel del cultivo, condición que gobierna el desarrollo fenológico (Neukam *et al.*, 2016). El ambiente (temperatura y régimen de humedad) influyó de manera marcada en la duración de las etapas fenológicas. En general, la variación fue mayor en la fase reproductiva que en la vegetativa y, en ambientes con déficit de humedad durante la etapa reproductiva (ITA1 e ITA2), se observó una reducción del tiempo a madurez, consistente con un mecanismo de adaptación/escape a sequía terminal (Tosquy *et al.*, 2014; 2019).

Con base en los DDS para el intervalo floración-madurez, se distinguieron tres grupos de ambientes: i) Nuevo México (NM1, NM2), con menor duración (~63 DDS; 26.5 °C); ii) Campo Experimental Ixtacuaco (CEI) y Rincón Grande (RG), con ciclos más largos (~82 DDS; 23.4 y 17.2 °C); y iii) ER1, ER2, ITA1, ITA2 y VC, con valores intermedios (~72 DDS; 23.4-26.0 °C). En la localidad de El Rubí, ER1 fue más precoz que ER2, debido a que en ER1 se registraron temperaturas relativamente altas durante la fase vegetativa y déficit hídrico en la fase reproductiva, lo que favoreció una senescencia acelerada; en contraste, en ER2 las temperaturas fueron menores en la fase vegetativa y se aplicaron riegos, condiciones que prolongaron el desarrollo. En ambientes establecidos en una misma fecha dentro de sitio (ITA1-ITA2; NM1-NM2) no se observaron diferencias notorias.

En contraste, al considerar GDD no se observó una diferenciación ambiental tan clara Figuras 1-4, probablemente porque este índice ajusta el desarrollo por la temperatura del dosel (estimada a partir de la temperatura del aire, la radiación solar y la evapotranspiración), compensando diferencias entre ambientes cálidos/secos y templados/húmedos. En conjunto, esto sugiere mayor precisión de los GDD respecto a los DDS para describir la fenología en ambientes contrastantes.

Desempeño de modelos

La selección del mejor predictor mediante modelos mixtos (Cuadro 2), coincidió con este patrón: el modelo con GDD como efecto fijo y genotipo como aleatorio (modelo 4) presentó el menor AIC (865.6) y la inclusión del ambiente no mejoró el ajuste (Akaike, 1998). Aunque el AIC es un criterio relativo y no prueba hipótesis, la diferencia frente al modelo nulo (modelo 5; AIC = 2 020.8) indica una capacidad predictiva aceptable y respalda el uso de GDD para parametrizar el desarrollo fenológico sin incorporar explícitamente el ambiente (Weijers *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Modelos mixtos analizados para seleccionar el mejor predictor de la fenología de los genotipos de frijol.

Modelos	Efectos fijos	Efecto aleatorio	AIC
1	DDS + ambiente de evaluación	Genotipo	967.79
2	DDS	Genotipo	982.42
3	GDD + ambiente de evaluación	Genotipo	891.83
4	GDD	Genotipo	*865.6
5	1	Genotipo	2009

*= mejor modelo de acuerdo al valor más bajo del Criterio de Información de Akaike (AIC).

GDD a floración y madurez

Con base en los promedios de GDD (Cuadro 3), Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 presentaron los menores requerimientos para alcanzar floración. Además, Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4 mostraron el menor intervalo floración-madurez. Solo Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 superó en precocidad a Negro Grijalva, una variedad de ciclo muy precoz (Villar *et al.*, 2009), por lo que podría considerarse como alternativa para áreas con ocurrencia frecuente de sequía terminal (López *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Promedio de GDD (\pm SD) que se requirieron para que los genotipos llegaran a las etapas de floración y madurez fisiológica en los distintos ambientes de evaluación.

Genotipos	Etapas vegetativa	Etapas reproductiva	Total acumulado
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	1050 (\pm 46)	861 (\pm 119)	1 911
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	1016 (\pm 41)	796 (\pm 80)	1 812
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-7	1042 (\pm 48)	856 (\pm 120)	1 898
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	1030 (\pm 46)	855 (\pm 135)	1 885
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8	1013 (\pm 50)	854 (\pm 121)	1 867
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	1046 (\pm 59)	825 (\pm 111)	1 871
Negro Papaloapan/SEN-46-3-7	1030 (\pm 44)	875 (\pm 127)	1 905
Negro Papaloapan/SEN-46-7-7	1087 (\pm 56)	889 (\pm 131)	1 976
Negro Papaloapan/SEN-46-7-11	1054 (\pm 59)	840 (\pm 107)	1 894
Negro Comapa	1054 (\pm 50)	866 (\pm 110)	1 920
Negro Grijalva	1045 (\pm 54)	847 (\pm 130)	1 892
Promedio general	1042.5	851.3	1 893.7

En contraste, Negro Papaloapan/SEN-46-7-7 requirió la mayor cantidad de GDD para floración (1087) y para el intervalo floración-madurez (889), superior a la de las variedades comerciales. En el extremo opuesto, Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 registró los menores requerimientos y, simultáneamente, las menores desviaciones estándar (\pm 41 en floración y \pm 80 en madurez), lo

que sugiere mayor estabilidad fenológica; por el contrario, SEN-46-7-7 presentó valores altos de variabilidad entre ambientes. La magnitud de la desviación estándar se asocia con la variabilidad del desarrollo en ambientes contrastantes (Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013).

Conclusiones

Los GDD, mostraron mayor precisión en describir la fenología de los genotipos en los diferentes ambientes de evaluación, que los DDS. La mejor predicción se obtuvo con el modelo cuatro que utiliza los GDD como un efecto fijo y a los genotipos como aleatorio. Los resultados de este estudio pueden utilizarse para simular el desarrollo y rendimiento potencial de genotipos de frijol, bajo diferentes condiciones ambientales, así como en la generación de ideotipos fenológicos para diferentes condiciones.

Previo a esto, es conveniente validar el modelo con datos provenientes de otros experimentos. En las áreas tropicales y subtropicales de estudio, Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8 y Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 requirieron menor cantidad de GDD para alcanzar la etapa de floración. Asimismo, Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4, requirieron menor cantidad de GDD para llegar a la etapa de maduración.

La información indica que la duración de la etapa reproductiva es más sensible a los efectos ambientales que la etapa vegetativa. La variedad Negro Grijalva tuvo un comportamiento muy similar al promedio general de GDD para alcanzar ambas etapas de desarrollo, mientras que, Negro Papaloapan/SEN-46-7-7 fue el genotipo más tardío en florear y madurar, con un total acumulado de 1976 GDD.

Bibliografía

- 1 Ahmad, L.; Habib-Kanth, R.; Parvaze, S. and Sheraz-Mahdi, S. 2017. Growing degree days to forecast crop stages. *In*: Ahmad, L.; Habib Kanth, R.; Parvaze, S. and Sheraz Mahdi, S. Ed. Experimental agrometeorology: a practical manual. Springer, Cham. Cham, Switzerland. 95-98 pp.
- 2 Akaike, H. 1998. A Bayesian analysis of the minimum AIC procedure. *In*: Parzen, E.; Tanabe, K. and Kitagawa, G. Ed. Selected papers of hirotugu akaike. Springer, New York, NY. 275-280 pp.
- 3 Bonhomme, R. 2000. Bases and limits to using 'degree day' units. *Eur. J. Agron.* 13(1):1-10. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00058-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00058-7).
- 4 Fernández, F.; Gepts, P. y López, M. 1986. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 7-33 pp.
- 5 FIRA. 2016. Fideicomiso Instituido en Relación a la Agricultura. Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Frijol. FIRA. México. 11-13 pp.
- 6 López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Acosta, G. J. A.; Villar, S. B. and Ugalde, A. F. J. 2011b. Drought resistance of tropical dry black bean lines and cultivars. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 14(2):749-755.
- 7 López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Jiménez, H. Y.; Salinas, P. R. A.; Villar, S. B. y Acosta, G. J. A. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol Negro Comapa en dos regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 35(4):309-315. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.4.309>.
- 8 Neukam, D.; Ahrends, H.; Luig, A.; Manderscheid, R. and Kage, H. 2016. Integrating wheat canopy temperatures in crop system models. *Agronomy* 6(1):7-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy6010007>.

- 9 Paleari, L.; Vesely, F. M.; Ravasi, R. A.; Movedi, E.; Tartarini, S.; Invernizzi, M. and Confalonieri, R. 2020. Analysis of the similarity between in silico ideotypes and phenotypic profiles to support cultivar recommendation-a case study on *Phaseolus vulgaris* L. *Agronomy* 10(11):1733-20. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111733>.
- 10 Rai, A.; Sharma, V. and Heitholt, J. 2020. Dry bean [*Phaseolus vulgaris* L.] growth and yield response to variable irrigation in the arid to semi-arid climate. *Sustainability* 12(9):3851-25. <https://doi.org/10.3390/su12093851>.
- 11 Salazar-Gutierrez, M. R.; Johnson, J.; Chaves-Cordoba, B. and Hoogenboom, G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *International Journal of Plant Production*. 7(4):741-762. <https://dx.doi.org/10.22069/ijpp.2013.1267>.
- 12 Seguin, B. and Itier, B. 1983. Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *Int. J. Remote Sens.* 4(2):371-383. <https://doi.org/10.1080/01431168308948554>.
- 13 Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Francisco, N. N.; Acosta, G. J. A. y Villar, S. B. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(7):1205-1217. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i7.866>.
- 14 Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Rodríguez, R. J. R.; Ibarra, P. F. J.; Zetina, L. R.; Meza, P. A. y Anaya-López, J. L. 2019. Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(6):1301-1312. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1658>.
- 15 Villar, S. B.; López, S. E. y Tosquy, V. O. H. 2009. Negro Grijalva, nuevo cultivar de frijol para el trópico húmedo de México. *Agricultura Técnica en México*. 35(3):349-352.
- 16 Weijers, S.; Pape, R.; Löffler, J. and Myers-Smith, I. H. 2018. Contrasting shrub species respond to early summer temperatures leading to correspondence of shrub growth patterns. *Environmental Research Letters*. 13(3):1-11. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aaa5b8>.
- 17 Willmott, C. J. and Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Clim. Res.* 30(1):79-82. <http://dx.doi.org/10.3354/cr030079>.
- 18 Willmott, C. J.; Matsuura, K. and Robeson, S. M. 2009. Ambiguities inherent in sums-of-squares-based error statistics. *Atmos. Environ.* 43(3):749-752. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.005>.



Caracterización y predicción fenológica de genotipos de frijol negro tropical

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 December 2025
Date accepted: 01 March 2026
Publication date: 01 February 2026
Publication date: Feb-Mar 2026
Volume: 17
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e4244
DOI: 10.29312/remexca.v17i2.4244

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

etapas de desarrollo de cultivos

Phaseolus vulgaris L.

temperatura del dosel

unidades calor

Counts

Figures: 4

Tables: 3

Equations: 1

References: 18