

# Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz

## Comparison of genotypes of opaque black common bean in acid soils of southern Veracruz

Oscar Hugo Tosquy-Valle<sup>1</sup> , Rigoberto Zetina-Lezama<sup>1‡</sup> , Ernesto López-Salinas<sup>1</sup> , Francisco Javier Ibarra-Pérez<sup>1</sup> , Bernardo Villar-Sánchez<sup>2</sup>  y José Raúl Rodríguez-Rodríguez<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRGOC-CE Cotaxtla. Carretera Federal Veracruz-Córdoba km 34.5. 94270 Medellín de Bravo, Veracruz, México.

<sup>‡</sup> Autor para correspondencia (zetina.rigoberto@inifap.gob.mx)

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRPAS-CE Centro de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3. 29140 Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRGOC-CE-Ixtacuaco. Carretera Federal Martínez de la Torre-Tlapacoyan km 4.5, Col. Rojo Gómez. 93600 Martínez de la Torre, Veracruz, México.

### RESUMEN

En el sur de Veracruz, México, la acidez del suelo es uno de los principales factores ambientales, que reducen el rendimiento de frijol. Los objetivos de esta investigación fueron: identificar líneas sobresalientes de frijol negro opaco, por su adaptación a suelos ácidos y alta eficiencia en el rendimiento, con y sin dolomita, así como determinar que componente de rendimiento se asocia a una mayor producción de frijol. En otoño-invierno de 2016-17 se establecieron dos ensayos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz, en un suelo con pH inicial de 4.67. Uno se condujo en condiciones de estrés por suelo ácido y el otro con 2.58 Mg ha<sup>-1</sup> de dolomita, aplicada al suelo 27 d antes de la siembra. Se evaluaron 12 líneas de frijol negro, comparadas con las variedades Negro Grijalva y Negro Comapa, en diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones. Las variables medidas fueron: producción de materia seca sin grano, peso de 100 semillas, número de vainas por planta y rendimiento de grano. Se realizó análisis de varianza de las variables cuantificadas y prueba de separación de medias basadas en la diferencia mínima significativa (DMS, 0.05). Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 mostró la mejor adaptación a las condiciones de suelo ácido en el sur de Veracruz, la cual obtuvo rendimientos de 911.0 y 706.3 kg ha<sup>-1</sup>,

con y sin dolomita, significativamente superiores al de los testigos comerciales. Esta línea también mostró la mayor eficiencia productiva, ya que obtuvo los valores más altos de media geométrica (MGi) de 802.1 y de índice de eficiencia relativa (IERi) de 2.00. En ambas condiciones de acidez edáfica, la cantidad de vainas por planta fue la única característica que se relacionó en forma positiva con el rendimiento de frijol ( $r = 0.91 **$  y  $0.87 **$ , con y sin dolomita).

**Palabras clave:** acidez edáfica, adaptabilidad, encalado, *Phaseolus vulgaris L.*

### SUMMARY

In southern Veracruz, Mexico, soil acidity is one of the main environmental factors that reduce the production yield of common bean. The objectives of this research were to identify outstanding opaque black bean breeding lines according to their level of adaptation to acid soils and high yield efficiency with and without the addition of dolomite into the soil, as well as to determine which is the yield component that associates the most to a greater production of beans. During the Fall/Winter season of 2016-17 two trials were performed in Juan Rodríguez Clara, Veracruz, in a land with a soil of initial pH = 4.67. One trial

#### Cita recomendada:

Tosquy-Valle, O. H., R. Zetina-Lezama, E. López-Salinas, F. J. Ibarra Pérez, B. Villar-Sánchez y J. R. Rodríguez-Rodríguez. 2020. Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 38: 91-102.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i.411>

Recibido: 24 de mayo de 2018.

Aceptado: 26 de octubre de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 38: 91-102.

was conducted under stress conditions by soil acidity and the other with 2.58 Mg ha<sup>-1</sup> of dolomite, applied to the soil 27 d before sowing. Twelve black bean breeding lines were evaluated and compared to Negro Grijalva and Negro Comapa bean varieties. All beans were arranged in a randomized complete block design with three replicates. The variables measured were dry matter production without grain, weight of 100 seeds, number of pods per plant and grain yield. An analysis of variance of the quantified variables and the least significant difference (LSD, 0.05) tests for separation of means were performed. Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 showed the best adaptation to acid soil conditions in southern Veracruz, which obtained yields of 911.0 and 706.3 kg ha<sup>-1</sup> with and without dolomite, respectively. These values were significantly higher than the commercial beans. This breeding line also showed the highest productive efficiency, since it obtained the highest geometric mean (MGi) values (802.1) and a relative efficiency index (IERi) of 2.00. Under both conditions of edaphic acidity, the number of pods per plant was the only plant trait that was positively related to seed yield ( $r = 0.91 **$  and  $0.87 **$ , with and without dolomite).

**Index words:** *soil acidity, adaptability, soil liming, Phaseolus vulgaris L.*

## INTRODUCCIÓN

En climas tropicales, el cultivo de frijol se desarrolla en suelos ácidos, localizados en su mayoría en el sureste de México, principalmente en los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Oaxaca (Castellanos, 2014). En Veracruz, la gran mayoría de estos suelos se encuentran en la zona de los Llanos de Isla y Juan Rodríguez Clara, ubicada en el sur de la entidad, donde se estima que cerca de 100 000 ha presentan una reacción ácida extrema, que limita el desarrollo y la productividad del cultivo de frijol (Zetina-Lezama *et al.*, 2002).

En esta zona de producción, durante el ciclo otoño-invierno, bajo condiciones de humedad residual, se siembran anualmente cerca de 7000 ha de frijol de grano negro, opaco y pequeño, que son los de mayor demanda comercial en el sureste de México (Morales-Rivera *et al.*, 2015; Tosquy-Valle *et al.*, 2016b). Los suelos en que se establecen estas siembras, en su mayoría son Acrisoles y Cambisoles dístricos (altamente degradados), de textura arenosa, con pH de

la capa arable inferior a 5.0 y pobres en su contenido de materia orgánica (<1.5%); de los que se obtienen bajos rendimientos de grano, debido principalmente a deficiencias nutrimentales de las plantas, ocasionadas por la lixiviación constante de calcio, magnesio y potasio y baja disponibilidad de fósforo (López-Bucio *et al.*, 2000; Zetina-Lezama *et al.*, 2005). Cuando hay un efecto combinado de acidez edáfica y de sequía terminal, que generalmente ocurre al final del ciclo del cultivo, estos rendimientos pueden ser menores a 300 kg ha<sup>-1</sup> (López-Salinas *et al.*, 2002; Tosquy-Valle *et al.*, 2008).

Además, en la mayoría de las siembras de frijol del sur de Veracruz, se utilizan materiales criollos de bajo rendimiento, variedades comerciales como Negro Jamapa, que fue generada hace más de 60 años por el INIA, y otras de origen desconocido, que tienen pobre adaptación a los suelos ácidos de baja fertilidad, y al estrés por sequía terminal (López-Salinas *et al.*, 2002; Tosquy-Valle *et al.*, 2008; 2016a), con lo cual se incrementan significativamente los riesgos de pérdida de rendimiento de grano y de rentabilidad de este cultivo (Zetina-Lezama *et al.*, 2017).

En diversos trabajos se ha indicado que el encalado con dolomita disminuye en el corto plazo los efectos perjudiciales de la acidez del suelo (Castañón-Nájera y Latournerie-Moreno, 2004; Aye *et al.*, 2017) e incrementa el rendimiento de frijol (Villar-Sánchez *et al.*, 2003; López-Salinas *et al.*, 2006), debido a que su aplicación correcta y oportuna en el suelo, suministra calcio y magnesio, incrementa la disponibilidad de fósforo, potasio y molibdeno, y elimina la toxicidad por aluminio y manganeso; además de que favorece la actividad microbiológica y mejora la estructura del suelo (Brady y Weil, 1999; Aye *et al.*, 2017).

En el sur de Veracruz, las respuestas más favorables en el cultivo de frijol se obtienen con aplicaciones de entre 1.25 y 2.6 Mg ha<sup>-1</sup> de dolomita, dependiendo de los valores de pH del suelo, textura y contenido de materia orgánica (Zetina-Lezama *et al.*, 2002; López-Salinas *et al.*, 2006). Sin embargo, aunque esta tecnología incrementa el rendimiento de grano, no ha tenido la aceptación por los productores de frijol, debido principalmente al alto costo de este mejorador de suelo y su aplicación, además de que existe dificultad para conseguir dolomita de buena calidad en la región, lo que incrementa aún más los costos por concepto de traslado (Zetina-Lezama *et al.*, 2002; Tosquy-Valle *et al.*, 2008).

La generación de variedades mejoradas de frijol de alto rendimiento y con adaptación a suelos ácidos, deficientes en nutrientes, constituye la alternativa tecnológica de mayor impacto para contribuir a solucionar la problemática indicada. Disponer de una variedad con estas características, le permitirá al productor disminuir riesgos de pérdida de rendimiento por este factor ambiental, y a la vez obtener una mayor rentabilidad del cultivo en su unidad de producción.

En el Programa de Frijol del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), se han realizado estudios de evaluación de líneas y variedades de frijol negro en los suelos ácidos del sur de Veracruz, en los que se ha determinado que éstas varían en su adaptación a las condiciones naturales de acidez edáfica y bajos contenidos de calcio, magnesio y potasio, así como en su eficiencia productiva, con y sin aplicación de mejoradores al suelo que aportan estas bases cambiables (López-Salinas *et al.*, 2002; 2006; Zetina-Lezama *et al.*, 2017). La variabilidad genética encontrada puede utilizarse para seleccionar progenitores con adaptación a este factor ambiental e incluirlos en programas de mejoramiento genético de esta especie (Araya y Acosta, 2000), así como para identificar líneas promisorias que en un futuro puedan liberarse como nuevas variedades, para su uso comercial (Villar-Sánchez, 2000).

En 2016, en un suelo ácido de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México, se condujeron dos ensayos, uno con aplicación de cal dolomita y el otro sin dolomita; ambos ensayos se conformaron por 12 líneas élite de frijol negro, previamente seleccionadas por su rendimiento y adaptación o tolerancia a uno o más de los factores: suelos ácidos, sequía y enfermedades (Garrido-Ramírez *et al.*, 2017; Ibarra-Pérez *et al.*, 2017; Tosquy-Valle *et al.*, 2017). Los objetivos de este trabajo de investigación fueron: identificar las líneas más sobresalientes por su adaptación a los suelos ácidos del sur de Veracruz y alta eficiencia en el rendimiento, con y sin aplicación de cal dolomita, así como determinar que componente de rendimiento se asocia a una mayor producción de frijol, en ambas condiciones de acidez edáfica (con y sin dolomita).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ambientes de Evaluación

Ambos ensayos uniformes se establecieron durante el ciclo otoño-invierno de 2016-17, bajo condiciones de humedad residual, en un terreno perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, el cual se localiza a 18° 01' 6.1" N y 95° 94' 1.7" O, a una altitud de 133 m. En el sitio experimental prevalece un clima cálido sub-húmedo (Aw<sub>o</sub>), con precipitación pluvial anual de 1100 mm y temperatura media mensual de 24.5 °C (Soto *et al.*, 2001). El suelo donde se establecieron los ensayos es del tipo Cambisol dístico (FAO-UNESCO, 1977) y de acuerdo a la clasificación agronómica de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, es de textura arena migajosa, con pH fuertemente ácido, contenido pobre de materia orgánica, nitrógeno inorgánico, fósforo extraíble, calcio y magnesio intercambiables; medio en su contenido de potasio intercambiable; adecuado en su contenido de hierro y manganeso extraíbles; deficiente en cobre y zinc extraíbles, bajo en acidez intercambiable, al igual que su capacidad de intercambio catiónico (NOM-021-RECNAT-2000, 2000). Cabe indicar, que el suelo donde se condujeron ambos ensayos, no presenta problemas de alta saturación de aluminio intercambiable, ya que la concentración de este elemento en el complejo de intercambio es de sólo 4.3%, menor al límite crítico de 20% establecido para el cultivo de frijol (Cuadro 1) (Núñez-Escobar, 1985; Sánchez y Salinas, 1985; Aguirre-Gómez, 2001).

En el suelo donde se estableció uno de los ensayos, se aplicó por única vez 2.58 Mg ha<sup>-1</sup> de cal dolomita [tamaño de partícula de 0.15 mm (sólo 1% de sus partículas es retenida por la malla 100) y contenido de 36.6% de CaO y 12.6% de MgO]. La aplicación de dolomita se hizo al voleo, 27 d antes de la siembra, para dar oportunidad a la reacción del material aplicado con el suelo (Zetina-Lezama *et al.*, 2017), en forma manual sobre la superficie del suelo e inmediatamente después se incorporó con un paso de rastre a una profundidad aproximada de 20 cm. La dosis

**Cuadro 1. Principales características físicas y químicas del suelo del sitio experimental.****Table 1. Main physical and chemical soil characteristics of the experimental site.**

Característica	Valor
Textura <sup>†</sup>	Arena migajosa
Arena (%)	87.20
Limo (%)	4.80
Arcilla (%)	8.00
pH (en agua. relación suelo-solución 1:2) <sup>*</sup>	4.67
Materia orgánica (%) <sup>§</sup>	0.86
Nitrógeno inorgánico( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) ( $\text{mg kg}^{-1}$ de suelo) <sup>¶</sup>	2
Fósforo extraíble (Bray P-1) ( $\text{mg kg}^{-1}$ de suelo) <sup>#</sup>	16
Potasio intercambiable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>††</sup>	162
Calcio intercambiable( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>††</sup>	513
Magnesio intercambiable ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>††</sup>	108
Hierro extraíble (DTPA) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>‡‡</sup>	15.7
Manganeso extraíble (DTPA) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>‡‡</sup>	23
Cobre extraíble (DTPA) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>‡‡</sup>	0.06
Zinc extraíble (DTPA) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) <sup>¶¶</sup>	Trazas
Acidez intercambiable ( $\text{Al} + \text{H}$ )(me/100 g) <sup>††</sup>	0.04
Saturación de aluminio (%)	4.3
Capacidad de intercambio catiónico ( $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ de suelo) <sup>††</sup>	3.9

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000 las metodologías utilizadas fueron: <sup>†</sup> Método AS-09, procedimiento de Bouyoucos; <sup>‡</sup> Método AS-02, electrométrico; <sup>§</sup> Método AS-07, procedimiento de Walkley y Black; <sup>\*</sup> Método AS-08, procedimiento de micro-Kjeldahl; <sup>#</sup> Método AS-11, Bray 1; <sup>††</sup> Método AS-12, con acetato de amonio 1 N y pH 7; <sup>¶</sup> Método AS-14, extraídos con DTPA.

According to the Official Mexican Standard PROY-NOM-021-RECNAT-2000 the methodologies used were: <sup>†</sup> Method AS-09, Bouyoucos procedure; <sup>‡</sup> AS-02 method, electrometric; <sup>§</sup> AS-07 method, Walkley and Black procedure; <sup>\*</sup> AS-08 method, micro-Kjeldahl procedure; <sup>#</sup> Method AS-11, Bray 1; <sup>††</sup> Method AS-12, with 1 N ammonium acetate and pH 7; <sup>¶</sup> Method AS-14, extracted with DTPA.

de cal se estimó considerando el valor de pH inicial del suelo de 4.67 (Cuadro 1), mediante la ecuación:  $Y = 11.708 - 1.954 x$ , generada por el INIFAP, para los suelos ácidos del sur de Veracruz (Zetina-Lezama *et al.*, 2002); donde: X = pH inicial del suelo en agua (relación 1:2 suelo-solución) y Y= requerimiento de cal para alcanzar un pH de 6, requerido para el óptimo

desarrollo del frijol (Ruiz-Corral *et al.*, 2013). El otro ensayo sembrado en el mismo suelo se conservó sin aplicación de dolomita.

### Germoplasma Utilizado

En ambos ensayos se evaluaron 14 materiales, de las cuales 12 líneas recombinantes élite de frijol negro del Programa Nacional de Frijol del INIFAP (cuatro provenientes de la crusa Papaloapan/SEN-46, cinco de la crusa Negro Citlali/XRAV-187-3 y tres de Jamapa Plus/XRAV-187-3) y las variedades comerciales Negro Grijalva y Negro Comapa, liberadas por el INIFAP para las áreas tropicales del sureste de México, por su amplia adaptación y mayor potencial de rendimiento que la variedad Negro Jamapa y los criollos que comúnmente se utilizan en la región (Villar-Sánchez *et al.*, 2009; López-Salinas *et al.*, 2010; 2012).

### Siembra y Manejo Agronómico de Ensayos

La siembra de los ensayos se realizó el 25 de octubre de 2016; se depositaron 20 semillas por metro lineal, para obtener una población inicial de 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . Se fertilizó en banda, cuando las plantas de los genotipos se encontraban en la etapa V3 (con el segundo trifolio desarrollado), con la dosis 20-20-00  $\text{kg ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente (López-Salinas *et al.*, 2002; 2007), para lo cual se utilizaron como fuentes nutrimentales urea con análisis 46 00-00 y fosfato diamónico 18-46-00. El control de malezas y plagas se realizó de acuerdo con las recomendaciones del INIFAP para producir frijol en el sur de Veracruz (López-Salinas *et al.*, 1994). Cabe señalar que, durante el ciclo del cultivo, no hubo presencia de enfermedades, que afectaran el desarrollo de las plantas y el rendimiento de grano, en ambos ensayos.

### Determinación de pH de Suelo

En cada ensayo, durante las etapas V3 (primera hoja trifoliada), R6 (floración) y R9 (maduración) (Fernández *et al.*, 1985), con una barrena de acero inoxidable se colectaron nueve sub-muestras de suelo, en zig - zag, a una profundidad de 0 a 30 cm, con las que se conformó una muestra compuesta por ensayo; estas muestras se enviaron al Laboratorio de Agua, Suelo y Planta del Campo Experimental Cotaxtla del

INIFAP, en donde se determinó el pH del suelo en agua (relación 1:2 suelo-solución), con un potenciómetro corning pH meter modelo 220.

### Variables de Respuesta

Durante la conducción de ensayos se registró la precipitación pluvial ocurrida en el sitio de evaluación y se cuantificaron las siguientes variables de respuesta: 1. Producción de materia seca sin grano; las plantas cosechadas y trilladas en cada parcela, se secaron en una estufa de aire forzado, marca Riossa, modelo HCF-62, a una temperatura de entre 80 y 100 °C, hasta obtener peso constante; posteriormente se determinó su peso con una báscula electrónica Ohaus con precisión a 0.01 g y los valores obtenidos se transformaron en kilogramos por hectárea. 2. Peso de 100 semillas, determinado en 100 semillas tomadas al azar de cada parcela, en gramos. 3. Número de vainas por planta, determinado en cinco plantas con competencia completa, seleccionadas al azar en cada parcela, en la etapa de cosecha, a las cuales se les contabilizaron sus vainas y se obtuvo el promedio, y 4. Rendimiento de grano, que se calculó a partir del peso del grano cosechado y limpio de cada parcela, en kilogramos por hectárea, ajustado al 14% de humedad.

### Diseño Experimental y Análisis Estadísticos

El diseño estadístico utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones y parcelas de tres surcos de 5 m de longitud, separados a 0.80 m, donde la parcela útil correspondió al surco central completo.

Se realizaron análisis de varianza de las características cuantificadas en cada ensayo y análisis combinado (dosis de encalado-genotipos) del rendimiento de grano. En los casos en que se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error (DMS,  $\alpha = 0.05$ ). También se realizaron correlaciones simples, mediante el procedimiento PROC CORR del SAS (SAS Institute, 1999), para determinar la relación que existió entre las variables evaluadas y el rendimiento de frijol, con y sin aplicación de dolomita.

El efecto de la acidez del suelo sobre el rendimiento de grano de cada genotipo se estimó con la media geométrica (MGi) y el índice de eficiencia relativa

(IERi). La MGi propuesta por Samper y Adams (1985) se calculó con la ecuación:  $MGi = (Y_{i_1} \times Y_{c_i})^{1/2}$ , donde: MGi = media geométrica de cada genotipo,  $Y_{i_1}$  y  $Y_{c_i}$  = rendimiento de cada genotipo, con y sin aplicación de dolomita, respectivamente.

El IERi descrito por Graham (1984), que indica la respuesta promedio de cada genotipo, bajo los dos tratamientos evaluados y permite seleccionar los de mayor eficiencia productiva, se calculó con la ecuación:  $IERi = (Y_{i_1} / Y_i) (Y_{c_i} / Y_c)$ , donde: IERi = índice de eficiencia relativa de cada genotipo;  $Y_{i_1}$  = rendimiento del genotipo i sin aplicación de cal dolomita,  $Y_i$  = rendimiento promedio sin dolomita,  $Y_{c_i}$  = rendimiento del genotipo i con aplicación de dolomita y  $Y_c$  = rendimiento promedio con dolomita.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

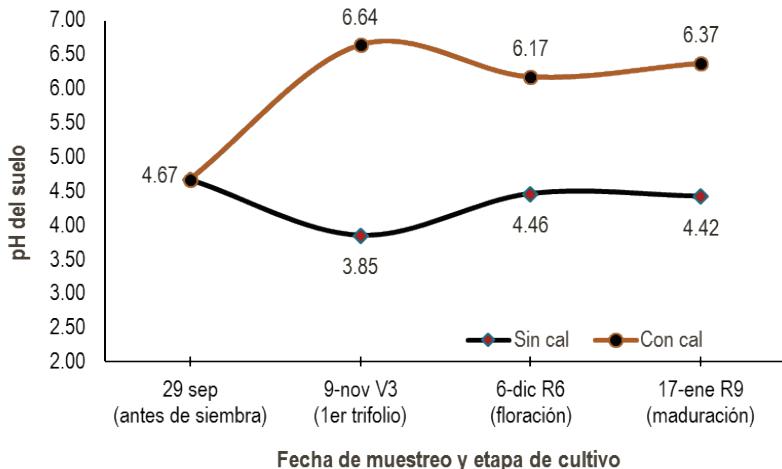
### Precipitación Pluvial

En el sitio experimental donde se condujeron los ensayos, se tuvo una precipitación pluvial acumulada de la siembra hasta la cosecha del frijol de 150.4 mm, de los cuales 126 mm se distribuyeron de manera adecuada durante la fase vegetativa del cultivo, mientras que, durante la fase reproductiva, las plantas de frijol sufrieron de estrés por humedad, debido a que sólo recibieron 24.4 mm de lluvia, de las etapas de formación de vainas al llenado de éstas (R7 a R8). Para un adecuado desarrollo del cultivo de frijol, se requieren de al menos 300 mm de precipitación pluvial durante su ciclo fenológico, siendo convenientes de 50 a 90 mm, de la floración al llenado de vainas (R6 a R8) (Acosta-Díaz *et al.*, 2009; Ruiz-Corral *et al.*, 2013).

La falta de humedad en el suelo por la ocurrencia de períodos de sequía, en las siembras de frijol de humedad residual del ciclo de otoño-invierno, es común en la zona de Juan Rodríguez Clara, y junto con la acidez edáfica, suelen afectar negativamente el rendimiento de grano (Morales-Rivera *et al.*, 2015). Debido a lo anterior, los resultados de este estudio son producto de un efecto combinado de ambos factores.

### pH del Suelo con y sin Aplicación de Dolomita

En la Figura 1 se muestra que de las etapas V3 (primera hoja trifoliada) hasta la R9 (madurez de cosecha), en el suelo donde se condujo el ensayo con aplicación de dolomita, se obtuvieron valores de pH



**Figura 1.** Valores de pH en agua en diferentes etapas de desarrollo del cultivo de frijol, en un suelo ácido, con y sin aplicación de dolomita, en Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2016-17.

**Figure 1.** pH values in water at different stages of bean crop development in an acidic soil, with and without dolomite input, in Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Fall-Winter crop season 2016-17.

superiores a 6.16, por lo que las plantas de los genotipos se desarrollaron en un ambiente de acidez edáfica favorable para el cultivo del frijol (Arias-Restrepo *et al.*, 2007). En tanto que, en el del ensayo sin aplicación de dolomita, en ese mismo periodo se registraron valores de pH inferiores a 4.47, que indican que los genotipos de frijol se desarrollaron bajo condiciones de estrés por acidez edáfica severa, ya que estos valores están muy por debajo del rango óptimo de 5.5 a 7.5, para un adecuado desarrollo de este cultivo (Benacchio-Sotton, 1982; FAO, 1994; Arias-Restrepo *et al.*, 2007).

### Variables de Respuesta

Con y sin aplicación de dolomita, se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0.01$ ) en todas las variables cuantificadas, excepto en la producción de materia seca sin grano (Cuadro 2), lo que indica, que los genotipos difirieron en peso de 100 semillas y número de vainas producidas por planta, así como en su capacidad productiva, tanto en condiciones de estrés por acidez edáfica severa, como sin el efecto de este factor ambiental. Los coeficientes de variación fueron menores a 18%, lo que sugiere una baja variabilidad de los datos obtenidos en ambos ensayos.

En ambos ensayos, la producción de materia seca sin grano, no se relacionó con el rendimiento de frijol ( $r = -0.30$  ns y  $-0.34$  ns, con y sin dolomita, respectivamente), debido a que los genotipos exhibieron producciones de biomasa estadísticamente similares, con y sin aplicación de cal dolomita. Resultados similares en esta característica se han observado con genotipos de frijol común evaluados en condiciones naturales de suelo ácido y encalado con  $\text{CaCO}_3$  (García *et al.*, 2004). Las líneas Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8 y Papaloapan/SEN-46-3-7, no mostraron reducción de materia seca sin grano, por efecto de la acidez edáfica, y Negro Citlali/XRAV-187-3-14-7 tuvo una reducción muy inferior al promedio general de esta característica (Cuadro 3). Se ha encontrado poca reducción de materia seca en genotipos de frijol común, debido al estrés por suelo ácido, por lo que es un parámetro poco consistente, para determinar la adaptabilidad de un cultivar a este factor ambiental (García *et al.*, 2004; Legesse *et al.*, 2013). A su vez, ocho líneas recombinantes y la variedad Negro Grijalva, obtuvieron pesos de 100 semillas significativamente sobresalientes, con y sin aplicación de dolomita; sin embargo, este componente de rendimiento tampoco se asoció con la producción de frijol ( $r = -0.42$  ns y  $-0.51$  ns, respectivamente), debido a que genotipos como: Papaloapan/SEN-46-7-11 y

**Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables cuantificadas en los ensayos conducidos en suelo ácido, con y sin aplicación de dolomita, en Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2016-17.**

**Table 2. Mean squares and statistical significance of variables quantified in the field trial conducted in acid soil with and without dolomite input. Juan Rodríguez Clara, Veracruz. Fall-Winter crop season 2016-17.**

Con aplicación de dolomita					
FV	GL	PMS <sup>†</sup>	P100S <sup>‡</sup>	VPP §	RG¶
Tratamientos	13	18643.846 ns	7.650 **	5.650 **	23342.769 **
Bloques	2	37392.000	2.785	8.506	27565.000
Error	26	10344.769	2.222	1.817	5470.077
Total	41				
CV (%)		17.84	6.19	12.67	11.08
Sin aplicación de dolomita					
Tratamientos	13	7132.769 ns	8.996 **	3.903 **	21083.615 **
Bloques	2	82868.000	7.310	18.436	69018.000
Error	26	4334.385	1.002	0.702	3201.923
Total	41				
CV (%)		13.00	4.50	10.88	11.77

<sup>†</sup> Producción de materia seca sin grano. <sup>‡</sup> Peso de 100 semillas. § Número de vainas por planta. ¶ Rendimiento de grano. \*\* Significativo al 0.01. ns = No significativo.

<sup>†</sup> Dry matter production without grain. <sup>‡</sup> 100 seed weight. § Number of pods per plant. ¶ Grain yield. \*\* Significant at 0.01. ns = Not significant.

NegroCitlali/XRAV-187-3-16-7, con pesos de 100 semillas significativamente superiores, fueron los de menor rendimiento de grano, en tanto que, otros como NegroCitlali/XRAV-187-3-1-8, que registró pesos estadísticamente inferiores, fue el más productivo en ambas condiciones de acidez edáfica. Cabe señalar, que esta característica fue la menos afectada, debido al estrés por suelo ácido, con una reducción promedio de 7.9% (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con los reportados por Legesse *et al.* (2013), quienes tampoco encontraron correlación significativa entre el peso de 100 semillas y el rendimiento de grano de genotipos de frijol común, en suelo ácido encalado y no encalado, y observaron una reducción promedio de esta característica de sólo 3.54%, por efecto de la acidez de suelo.

En el Cuadro 4 se muestra que, con y sin aplicación de cal dolomita, la línea Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 produjo una cantidad significativamente superior de vainas por planta y rendimiento de grano, respecto al resto de los genotipos. Estas dos características estuvieron altamente correlacionadas en forma positiva en ambas condiciones de acidez del suelo ( $r = 0.91 **$  y  $0.87 **$  con y sin dolomita), lo cual coincide

con los resultados obtenidos por Legesse *et al.* (2013), e indica que la producción de vainas por planta es uno de los principales componentes del rendimiento de grano (López y Ligarreto, 2006; Dalla-Corte *et al.*, 2010; Tosquy-Valle *et al.*, 2014). Así mismo, la cantidad de vainas por planta y el rendimiento de grano, fueron las características más afectadas, debido al estrés por suelo ácido, con reducciones mayores a 27%. Las líneas Papaloapan/SEN-46-3-7 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8 fueron las menos afectadas en estos dos caracteres, pero obtuvieron bajos rendimientos de grano, con y sin aplicación de dolomita. Por su parte, la línea NegroCitlali/XRAV-187-3-1-8, además de ser la más productiva, también mostró porcentajes de reducción de estas dos características, menores al promedio general. Los bajos rendimientos promedio obtenidos, con y sin aplicación de dolomita (Cuadro 4), son consecuencia del estrés hídrico que sufrieron las plantas durante la fase reproductiva del cultivo, que limitó el desarrollo de los genotipos. La falta de humedad durante la floración, y la formación y llenado de vainas, provoca una disminución significativa del rendimiento de grano, por una reducción en el número de vainas por

**Cuadro 3. Efecto del estrés por suelo ácido en la producción de materia seca sin grano y el peso de 100 semillas de genotipos de frijol negro evaluados, con y sin aplicación de dolomita. Juan Rodríguez Clara, Ver., México. Ciclo de otoño-invierno de 2016-17.**

**Table 3. Effect of acid soil stress on the production of dry matter without grain and the weight of 100 seeds of the genotypes of black bean evaluated with and without dolomite input. Juan Rodríguez Clara, Veracruz, Mexico. Fall-Winter crop season 2016-17.**

Genotipo	PMS <sup>†</sup>		Reducción <sup>‡</sup>	P100S <sup>††</sup>		Reducción
	CD <sup>¶</sup>	SD <sup>##</sup>		CD	SD	
	- - - - kg ha <sup>-1</sup>	- - - -	%	- - - - g	- - - -	%
Papaloapan/SEN 46-3-7	542.7	592.3	+9.1	26.0 a	23.3 a	10.4
Papaloapan/SEN 46-6-6	696.7	561.7	19.4	24.0 abcd	23.0 a	4.2
Papaloapan/SEN 46-7-7	601.7	485.0	19.4	25.0 abc	23.7 a	5.2
Papaloapan/SEN 46-7-11	588.7	509.3	13.5	26.0 a	23.3 a	10.4
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	525.0	453.3	13.7	21.0 e	20.0 b	4.8
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	473.3	443.3	6.3	22.3 de	19.3 b	13.5
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-6	610.7	474.3	22.3	25.0 abc	23.7 a	5.2
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-7	514.7	502.3	2.4	25.3 ab	23.3 a	7.9
Negro Citlali/XRAV-187-3-16-7	645.3	600.0	7.0	25.3 ab	24.0 a	5.1
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8	434.3	494.0	+13.7	22.7 cde	20.0 b	11.9
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	527.7	449.7	14.8	22.0 de	20.0 b	9.1
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	554.3	512.0	7.6	24.3 abcd	23.7 a	2.5
Negro Comapa	556.3	507.0	8.9	23.0 bede	21.0 b	8.7
Negro Grijalva	712.3	506.3	28.9	25.0 abc	23.0 a	8.0
Promedio <sup>§</sup>	570.3	506.5	11.2	24.1	22.2	7.9
DMS (0.05)	-	-		2.5	1.68	

<sup>†</sup>Producción de materia seca sin grano. <sup>††</sup>Peso de 100 semillas. <sup>‡</sup>Porcentaje de reducción debido al estrés por suelo ácido. <sup>¶</sup>Con aplicación de dolomita. <sup>##</sup>Sin aplicación de dolomita. <sup>§</sup>Promedio de la variable, con y sin aplicación de dolomita. \*Genotipos con letras diferentes en cada columna de la variable peso de 100 semillas (P100S), son estadísticamente diferentes de acuerdo a la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

<sup>†</sup>Dry matter production without grain. <sup>††</sup>100 seed weight. <sup>‡</sup>Reduction percentage due to acid soil stress. <sup>¶</sup>With dolomite input. <sup>##</sup>Without dolomite input.

<sup>§</sup>Average of the variable with and without dolomite input. \* Genotypes with different letters in each column of 100 seed weight (P100S) variable indicate statistical difference according to the Least Significant Difference test (0.05).

planta y un deficiente llenado de vainas (Boutraa y Sanders, 2001; Szilagyi, 2003; Acosta-Díaz *et al.*, 2009; Ruiz-Corral *et al.*, 2013).

Según el análisis combinado, el rendimiento varió significativamente entre condiciones de acidez de suelo (dosis de encalado) y genotipos ( $P \leq 0.01$ ), pero no en la interacción de ambos factores; esto último debido a que todos los genotipos, en mayor o menor magnitud, disminuyeron su rendimiento de grano, al pasar de un ambiente con acidez edáfica adecuada para su desarrollo, a otro con pH de suelo fuertemente ácido (Arias-Restrepo *et al.*, 2007). De acuerdo con la DMS, con la aplicación de cal dolomita se obtuvo un rendimiento promedio de  $667.6 \text{ kg ha}^{-1}$ , significativamente superior al obtenido sin dolomita ( $480.9 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Cuadro 4), lo que equivale a un

incremento de 38.8% en el rendimiento de grano. Porcentajes de incremento similares o mayores se han reportado en la producción de frijol en Veracruz y Chiapas, en suelos ácidos aplicados con este mejorador de suelo (López-Salinas *et al.*, 2002; Villar-Sánchez *et al.*, 2003; López-Salinas *et al.*, 2006). Estos resultados corroboran la susceptibilidad del frijol a la acidez del suelo, que limita el desarrollo de las plantas y reduce el rendimiento de grano (Zetina-Lezama *et al.*, 2002; Legesse *et al.*, 2013).

En el factor genotipos, la línea Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 obtuvo el mayor rendimiento promedio de las dos condiciones de acidez edáfica, así como los valores más altos de MG<sub>i</sub> e IER<sub>i</sub> (Cuadro 5), que indican que fue la de mayor eficiencia productiva, con y sin estrés, por suelo ácido. Jamapa Plus/XRAV-

**Cuadro 4. Efecto del estrés por suelo ácido en la producción de vainas por planta y el rendimiento de grano de genotipos de frijol negro evaluados, con y sin aplicación de dolomita. Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México. Ciclo de otoño-invierno de 2016-17.**

**Table 4. Effect of acid soil stress on the production of pods per plant and grain yield of the genotypes of black bean evaluated with and without dolomite input. Juan Rodríguez Clara, Veracruz, Mexico. Fall-Inter crop season 2016-17.**

Genotipo	VPP <sup>†</sup>		Reducción <sup>‡</sup>	RG <sup>††</sup>		Reducción
	CD <sup>¶</sup>	SD <sup>**</sup>		CD	SD	
Papaloapan/SEN 46-3-7	9.3 c	7.7 bc	17.2 %	598.0 cd	481.7 bcd	19.4
Papaloapan/SEN 46-6-6	10.9 bc	7.3 bc	33.0	692.7 bcd	505.3 bc	27.0
Papaloapan/SEN 46-7-7	10.9 bc	7.5 bc	31.2	652.7 bcd	394.3 de	39.6
Papaloapan/SEN 46-7-11	10.4 bc	6.5 c	37.5	581.7 d	396.3 de	31.9
Negro Citlali/XRAV 187-3-1-6	10.1 bc	7.2 bc	28.7	633.3 cd	454.7 cde	28.2
Negro Citlali/XRAV 187-3-1-8	14.8 a	11.1a	25.0	911.0 a	706.3 a	22.5
Negro Citlali/XRAV 187-3-14-6	10.6 bc	7.5 bc	29.3	626.7 cd	442.3 cde	29.4
Negro Citlali/XRAV 187-3-14-7	10.4 bc	7.0 c	32.7	689.0 bcd	479.7 cd	30.4
Negro Citlali/XRAV 187-3-16-7	9.3 c	7.0 c	24.7	576.0 d	368.7 e	36.0
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8	9.7 bc	8.5 b	12.4	603.0 cd	480.7 cd	20.3
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	11.7 b	7.0 c	40.2	714.7 bc	475.0 cd	33.5
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	10.9 bc	8.5 b	22.0	767.0 b	576.0 b	24.9
Negro Comapa	9.9 bc	7.9 bc	20.2	661.0 bcd	512.0 bc	22.5
Negro Grijalva	10.1 bc	7.1 c	29.7	639.0 cd	459.0 cde	28.2
Promedio <sup>§</sup>	10.6	7.7	27.4	667.6	480.9	28.0
DMS (0.05)	2.26	1.41		124.16	94.99	

<sup>†</sup> Número de vainas producidas por planta. <sup>††</sup> Rendimiento de grano. <sup>‡</sup> Porcentaje de reducción debido al estrés por suelo ácido. <sup>¶</sup> Con aplicación de dolomita.

<sup>\*\*</sup> Sin aplicación de dolomita. <sup>§</sup> Promedio de la variable, con y sin aplicación de dolomita. \*Genotipos con letras diferentes en cada columna, son estadísticamente diferentes, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

<sup>†</sup> Number of pods produced per plant. <sup>††</sup> Grain yield. <sup>‡</sup> Percentage of reduction due to acid soil stress. <sup>¶</sup> With dolomite input. <sup>\*\*</sup> Without dolomite input. <sup>§</sup> Average of the variable with and without dolomite input. \* Genotypes with different letters in each column indicate statistical difference according to the Least Significant Difference (0.05) test.

187-3-4-4 también mostró un rendimiento promedio significativamente superior y una mayor eficiencia productiva que los testigos comerciales. Ambos índices clasificaron en forma similar a los genotipos y estuvieron altamente asociados con el rendimiento de grano de éstos ( $r = 0.999^{**}$  y  $0.996^{**}$ ), lo que indica su dependencia de la respuesta de los genotipos en suelos con y sin aplicación de dolomita (Villar-Sánchez *et al.*, 2003). Estos resultados concuerdan con lo reportado por López-Salinas *et al.* (2006) y Tosquy-Valle *et al.* (2008) en suelos ácidos de Isla, Veracruz. A su vez, siete líneas recombinantes (incluidas Papaloapan/SEN-46-3-7 y Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8, que mostraron las menores reducciones de rendimiento) y la variedad Negro Grijalva, mostraron pobre adaptación a las condiciones de suelo ácido en el sur de Veracruz, ya que obtuvieron las MG<sub>i</sub> más

bajas y valores de IER<sub>i</sub> menores a la unidad (Graham, 1984; Samper y Adams, 1985) (Cuadro 5).

## CONCLUSIONES

Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8 fue el genotipo que mostró la mejor adaptación a las condiciones de estrés por suelo ácido y sequía que prevaleció durante la etapa reproductiva del cultivo en el sur de Veracruz, el cual obtuvo rendimiento de grano significativamente superior al de los testigos comerciales y los valores de índices más altos de MG<sub>i</sub> e IER<sub>i</sub>, que indican alta eficiencia productiva, con y sin aplicación de cal dolomita. En ambas condiciones de manejo de la acidez edáfica (con y sin encalado), la cantidad de vainas por planta fue la única característica que se relacionó en forma positiva con una mayor producción de frijol.

**Cuadro 5. Rendimiento de grano promedio e índices de selección estimados en suelo ácido, con y sin aplicación de dolomita. Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México. Ciclo de otoño-invierno de 2016-17.**

**Table 5. Average grain yield and selection indexes in acid soil with and without dolomite input. Juan Rodríguez Clara, Veracruz, Mexico. Fall-Winter crop season 2016-17.**

Genotipo	RG promedio <sup>†</sup>	MGI <sup>‡</sup>	IERI <sup>§</sup>
kg ha <sup>-1</sup>			
Papaloapan/SEN 46-3-7	539.8 cde	536.7	0.90
Papaloapan/SEN 46-6-6	599.0 bc	591.6	1.09
Papaloapan/SEN 46-7-7	523.5 cde	507.3	0.80
Papaloapan/SEN 46-7-11	489.0 de	480.1	0.72
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-6	544.0 cde	536.6	0.90
Negro Citlali/XRAV-187-3-1-8	808.7 a	802.1	2.00
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-6	534.5 cde	526.5	0.86
Negro Citlali/XRAV-187-3-14-7	584.3 c	574.9	1.03
Negro Citlali/XRAV-187-3-16-7	472.3 e	460.8	0.66
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-8	541.8 cde	538.4	0.90
Jamapa Plus/XRAV-187-3-1-2	594.8 c	582.6	1.06
Jamapa Plus/XRAV-187-3-4-4	671.5 b	664.7	1.38
Negro Comapa	586.5 c	581.7	1.05
Negro Grijalva	549.0 cd	541.6	0.91
Promedio <sup>¶</sup>	574.2	566.6	1.02
DMS (0.05)	76.323		

<sup>†</sup> Promedio de rendimiento de genotipos en el análisis combinado. <sup>‡</sup> Media geométrica. <sup>§</sup> Índice de eficiencia relativa. <sup>¶</sup> Promedio de rendimiento de las condiciones de manejo de suelo (con y sin dolomita) en el análisis combinado. \* Genotipos con letras diferentes en la columna de rendimiento promedio, son estadísticamente diferentes, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05).

<sup>†</sup> Average seed yield of genotypes in the combined analysis. <sup>‡</sup> Geometric mean. <sup>§</sup> Relative efficiency index. <sup>¶</sup> Average seed yield of soil management conditions (with and without dolomite) in the combined analysis. \* Genotypes with different letters in the average yield column indicate statistical difference according to the Least Significant Difference test (0.05).

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. S. Padilla-Ramírez, and M. D. Amador-Ramírez. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. Agric. Téc. Méx. 35: 419-428.
- Aguirre-Gómez, A. 2001. Química de los suelos ácidos, templados y tropicales. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., México. ISBN: 9683693261.
- Araya, R. y J. A. Acosta. 2000. Adaptación del frijol a suelos de baja fertilidad bajo presión de enfermedades foliares en Costa Rica Agron. Mesoam. 11: 31-36.
- Arias-Restrepo, J. H., T. Rengifo-Martínez y M. Jaramillo-Carmona. 2007. Manual técnico: buenas prácticas agrícolas en la producción de fríjol voluble. CORPOICA, MANA, FAO. Medellín, Colombia. ISBN: 978-92-5-305827-3.
- Aye, N. S., C. R. Butterly, P. W. G. Sale, and C. Tang. 2017. Residue addition and liming history interactively enhance mineralization of native organic carbon in acid soils. Biol. Fertil. Soils 53: 61-75. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-016-1156-y>.
- Benacchio-Sotton, S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico americano: Un compendio. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Venezuela.
- Boutraa, T. and F. Sanders. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Agron. Crop Sci. 187: 251-257. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00525.x>.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. ISBN-13: 978-0138524449
- Castañón-Nájera, G. y L. Latournerie-Moreno. 2004. Comportamiento de familias S<sub>1</sub> de maíz en distintos pH del suelo. Bragantia 63: 63-72. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000100007>.
- Castellanos, J. Z. 2014. Acidez del suelo y su corrección. Hojas técnicas de Fertilab. México.

- Dalla-Corte, A., V. Moda-Cirino, C. A. Arrabal-Arias, J. Ferraz-de Toledo, and D. Destro. 2010. Genetic analysis of seed morphological traits and its correlations with grain yield in common bean. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 53: 27-34.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organization). 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy.
- FAO-UNESCO (Food and Agriculture Organization of the United Nations or the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 1977. Soil map of the World. Vol. 4. Mexico and Central America. UNESCO. Paris, France.
- Fernández, F., P. Geps y M. López. 1985. Etapas de desarrollo en la planta de frijol. pp. 61-78. In: M. López, F. Fernández y A. van Schoonhoven (eds.). *Frijol: investigación y producción*. CIAT. Cali, Colombia.
- García, A., G. Dueñas, G. Hernández, G. Herrero, A. Nuviola, N. Méndez y F. Zapata. 2004. Efecto del encalado en la respuesta vegetal y fijación simbiótica del nitrógeno en frijol común. *Agron. Mesoam.* 14: 207-214.
- Garrido-Ramírez, E., F. J. Ibarra-Pérez, E. López-Salinas, and O. H. Tosquy-Valle. 2017. Identification of tropical black bean breeding lines resistant to BGYMV using molecular markers. pp. 47-48. In: Annual report of the bean improvement cooperative, no. 60. East Lansing, MI, USA.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Adv. Plant Nutr.* 1: 57-102.
- Ibarra-Pérez, F. J., R. Zetina-Lezama, O. H. Tosquy-Valle, and E. López-Salinas. 2017. Terminal water stress imposed to identify drought tolerant mesoamerican black common bean breeding lines in southern Mexico. pp. 51-52. In: Annual report of the bean improvement cooperative, no. 60. East Lansing, MI, USA.
- Legesse, H., R. Nigussie-Dechassa, S. Gebeyehu, G. Bultosa, and F. Mekbib. 2013. Response to soil acidity of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) under field conditions at Nedjo, Western Ethiopia. *Sci. Technol. Arts Res. J.* 2: 3-15.
- López-Bucio, J., O. Martínez-de la Vega, A. Guevara-García, and L. Herrera-Estrella. 2000. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nature Biotechnol.* 18: 450-453. doi: <https://doi.org/10.1038/74531>.
- López, J. y G. Ligarreto. 2006. Evaluación por rendimiento de 12 genotipos promisorios de frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo Bola roja y Reventón para las zonas frías de Colombia. *Agron. Colombiana* 24: 238-246.
- López-Salinas, E., A. Durán-Prado, E. N. Becerra-Leor, V. A. Esqueda-Esquível y O. Cano-Reyes. 1994. Manual de producción de frijol en el estado de Veracruz. Folleto para Productores Núm. 7. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Cotaxtla, Veracruz, Ver., México.
- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, J. Cumpián-Gutiérrez, O. Cano-Reyes, B. Villar-Sánchez y E. N. Becerra-Leor. 2002. Adaptación de genotipos de frijol común en la región tropical húmeda de México. *Agric. Téc. Mex.* 28: 35-42.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, E. N. Becerra-Leor, F. J. Ugalde-Acosta y J. Cumpián-Gutiérrez. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 33-39.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, J. Cumpián-Gutiérrez, F. J. Ugalde-Acosta y E. N. Becerra-Leor. 2007. Negro Papaloapan, nuevo cultivar de frijol para las áreas tropicales de México. *Agric. Téc. Mex.* 33: 259-269.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, J. R. Rodríguez-Rodríguez, F. J. Ugalde-Acosta, A. Morales-Rivera y J. A. Acosta-Gallegos. 2010. Negro Comapa, nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5: 715-721.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, Y. Jiménez-Hernández, R. A. Salinas-Pérez, B. Villar-Sánchez y J. A. Acosta-Gallegos. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol 'Negro Comapa' en dos regiones de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 309-315.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colin y A. García-Esteve. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 33: 309-319.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F.
- Núñez-Escobar, R. 1985. Efecto de la acidez del suelo sobre la producción de cultivos y su corrección mediante encalado. Serie Cuadernos de Edafología 2. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Ruiz-Corral, J. A., G. Medina-García, I. J. González-Acuña, H. E. Flores-López, G. Ramírez-Ojeda, C. Ortiz-Trejo, K. F. Byerly-Murphy y R. A. Martínez-Parra. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal., México. ISBN: 978-607-37-0188-4.
- Samper, C. and M. W. Adams. 1985. Geometric mean of stress and control yield as a selection criterion for drought tolerance. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 28: 53-54.
- Sánchez, P. A. y J. G. Salinas. 1985. Suelos ácidos: estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT. User's guide. Versión 8. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Soto, M., L. Gama y M. Gómez. 2001. Los climas cálidos subhúmedos del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3: 31-40.
- Szilagyi, L. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *J. Plant Physiol.* 43: 320-330.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, R. Zetina-Lezama, F. J. Ugalde-Acosta, B. Villar-Sánchez y J. Cumpián-Gutiérrez. 2008. Selección de genotipos de frijol con adaptación a suelos ácidos. *Terra Latinoamericana* 26: 227-233.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, N. Francisco-Nicolás, J. A. Acosta-Gallegos y B. Villar-Sánchez. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5: 1205-1217.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, B. Villar-Sánchez, F. J. Ibarra-Pérez, J. R. Rodríguez-Rodríguez, J. A. Acosta-Gallegos, J. L. Anaya-López y E. R. Garrido-Ramírez. 2016a. Verdín, variedad de frijol negro, precoz y tolerante

- a la sequía, para Veracruz y Chiapas. Folleto Técnico Núm. 86. SAGARPA-INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., México.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, B. Villar-Sánchez, J. A. Acosta-Gallegos y J. R. Rodríguez-Rodríguez. 2016b. Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 7: 1775-1780. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.170>.
- Tosquy-Valle, O. H., R. Zetina-Lezama, F. J. Ibarra-Pérez, E. López-Salinas, and A. Morales-Rivera. 2017. Identification of black common bean breeding lines adapted to acid soils of southern Veracruz, Mexico. pp. 67-68. In: Annual report of the bean improvement cooperative, no. 60. East Lansing, MI, USA.
- Villar-Sánchez, B. 2000. Estrategia para el manejo de suelos ácidos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el estado de Chiapas, México. Agron. Mesoam. 11: 155-158. doi: <https://doi.org/10.15517/am.v11i1.17396>.
- Villar-Sánchez, B., E. López-Salinas y J. A. Acosta-Gallegos. 2003. Selección de genotipos de frijol por rendimiento y resistencia al mosaico dorado y suelos ácidos. Rev. Fitotec. Mex. 26: 109-114.
- Villar-Sánchez, B., E. López-Salinas y O. H. Tosquy-Valle. 2009. Negro Grijalva, nuevo cultivar de frijol para el trópico húmedo de México. Agric. Téc. Méx. 35: 349-352.
- Zetina-Lezama, R., L. Pastrana-Aponte, J. Romero-Mora y J. A. Jiménez-Chong. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro Técnico Núm. 10. INIFAP. CIRGOC. Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Veracruz, México. ISBN: 968-800-535-5.
- Zetina-Lezama, R., A. Trinidad-Santos, J. L. Oropeza-Mota, V. Volke-Haller y L. L. Landois-Palencia. 2005. Relación bases intercambiables – rendimiento de maíz en un Cambisol dístico con labranza, encalado y abono verde. Terra Latinoamericana 23: 389-397.
- Zetina-Lezama, R., O. H. Tosquy-Valle, E. López-Salinas, F. J. Ibarra-Pérez y A. Morales-Rivera. 2017. Adaptación de líneas recombinantes de frijol negro a suelos ácidos del sur de Veracruz. pp. 251-259. In: Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático 2017. Libro Científico Núm. 1. INIFAP, CP, UV, UACH, AVC, ITBOCA, ITUG, ITSH, UPH. Medellín, Veracruz, México.