

Artículo científico**RESPUESTA DEL FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) A LA INOCULACIÓN CON AZOFERT®-F EN CONDICIONES DE DÉFICIT HÍDRICO.**Patricia Blanco Bárzaga¹, Wilfredo Estrada Prado¹ y Aniela Jorge Puentes²**RESUMEN**

Se evaluó la respuesta del cultivo del frijol a la inoculación con Azofert®-F en condiciones de déficit hídrico. El experimento se desarrolló en el período 2019-2020 en el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y en la Empresa Agropecuaria “El Cucán”, municipio Jiguaní, provincia Granma, Cuba. Se utilizó el cultivar ‘Tomeguín-93’ en el cual se emplearon cuatro tratamientos que consistieron en aplicar el 100 y el 50 % de la norma de riego recomendada por el instructivo del cultivo, en cada caso se inoculó con Azofert®-F, con una dosis 200 mL por cada 50 kg de semilla en el momento de la siembra, y como control se utilizaron tratamientos sin la aplicación de este producto. Se empleó un diseño completamente aleatorizado para las condiciones controladas y se utilizó un diseño de parcelas divididas con arreglo factorial y cuatro réplicas para el experimento de campo. Se seleccionaron 10 plantas al azar en cada tratamiento donde se evaluaron los siguientes indicadores: longitud de la raíz (cm), superficie foliar (cm²), número de nódulos por plantas, número de nódulos efectivos, número de vainas por plantas, número de granos por vainas, número de granos por plantas, masa de granos por planta (g), masa fresca de 100 grano (g), así como el rendimiento (t.ha⁻¹). Los resultados mostraron que la inoculación con Azofert®-F, estimuló el crecimiento, así como la nodulación en condiciones de estrés hídrico. Se incrementó el rendimiento agrícola en condiciones de déficit hídrico por el efecto de la inoculación con Azofert®-F.

Palabras clave: área foliar, componentes del rendimiento, crecimiento, nodulación

Response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to inoculation with Azofert®-F in hydric deficit conditions.

ABSTRACT

The effect of Azofert®-F on plant growth and yield of bean in water deficit conditions was evaluated. The experiment was carried out in the light room of the Department of Plant Physiology and Biochemistry of the National Institute of Agricultural Sciences and in the “El Cucán” Agricultural Enterprise during the period of 2019-2020, in the municipality of Jiguaní, Granma province. The bean cultivar used was ‘Tomeguín-93’ and four treatments were evaluated with the application of 100 and 50 % of field capacity inoculated with a dose of 200 mL Azofert®-F per 50 kg of seed at sowing moment and were used no Azofert®-F application as control. A design was used randomized for the controlled conditions and design used was a split plots with factorial arrangement and 4 replies for the field experiment. For each treatment were selected 10 plants and

¹Ing. Patricia Blanco Bárzaga, Reserva Científica del Departamento de Investigaciones Agrícolas, Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, Carretera Vía Manzanillo Km 16 1/2, Bayamo. Granma. Cuba. E-mail: pblancob@dimitrov.cu, ²Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Procesos Agroindustriales del Centro Universitario Municipal Río Cauto. Carretera Vía Las Tunas Km 39. Río Cauto, Granma. Cuba.

were evaluated: root length (cm), leaf area (cm²), number of nodule per plant, number of effective nodule, number of grain per plant, grain mass per plant (g), 100 grain fresh mass (g) and yield (t ha⁻¹). The results shown that Azofert®-F inoculation stimulated the plant growth and the nodulation in water stress conditions. The agricultural yield was increased in water deficit conditions with Azofert®-F inoculation.

Key words: leaf area, yield components, growth, nodulation

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más consumida en el mundo. En la actualidad se producen cerca de 18 millones de ton anuales, en ambientes tan diversos como regiones de América Latina, el norte de África, China, Estados Unidos, Europa y Canadá. América Latina es el mayor productor y consumidor, liderado por Brasil, México, Centroamérica y el Caribe (González *et al.*, 2017). Este cultivo constituye una fuente significativa de proteínas, vitaminas y minerales para la dieta humana (Dell Amico *et al.*, 2017; Calero *et al.*, 2018). Se plantea que, para más de 300 millones de personas en el mundo, el frijol es componente esencial de su dieta diaria (Rodríguez, 2017).

En Cuba, la superficie cosechada de este cultivo superó las 118 mil hectáreas durante el año 2017, con un rendimiento promedio de 1,2 t ha⁻¹ y una producción total de 132 mil toneladas (ONEI, 2018).

En los últimos años, las sequías causadas por el cambio climático global son cada vez más frecuentes, por lo que las investigaciones relacionadas con la repuesta de las plantas al déficit hídrico resultan imprescindibles (Land *et al.*, 2011).

En tal sentido la sequía o los períodos frecuentes de déficit hídrico es una de las principales amenazas para la productividad de los cultivos en todo el mundo, lo que afecta la seguridad alimentaria mundial (Jaemsaeng *et al.*, 2018; Saikia *et al.*, 2018).

En Cuba, las precipitaciones durante el período seco del año no son suficientes para obtener un desarrollo adecuado de la mayor parte de los cultivos, por lo que el riego es necesario (González *et al.*, 2017).

En la búsqueda de vías para aumentar la producción de alimentos, con una menor agresión al medio ambiente, surgen diversos productos naturales entre los que se encuentran los biofertilizantes. Azofert®-F es un inoculante comercial a base de *Rhizobium radiobacter*, bacterias que se asocian a las plantas de frijol y forman nódulos en sus raíces, dentro de los cuales fijan el nitrógeno del aire y lo brindan directamente a la planta (Nápoles *et al.*, 2002). Se ha demostrado, además, que señales producidas por estas bacterias y contenidas en este bioproducto, inducen tolerancia al estrés bajo condiciones de déficit hídrico (Atti *et al.*, 2005; Nápoles *et al.*, 2009). Por lo que el objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo del frijol a la inoculación con Azofert®-F en condiciones de déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el período octubre-enero 2019-2020 en el laboratorio del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y en la Empresa Agropecuaria "El Cucán", situada en el municipio Jiguaní, provincia Granma, perteneciente al Ministerio de la Agricultura. Se utilizó para el desarrollo de los experimentos un suelo Pardo mullido sin Carbonatos, según la

Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015).

El suelo empleado se caracterizó por presentar un contenido bajo de materia orgánica y contenido de fósforo alto, con un pH ligeramente ácido, sin embargo, los contenidos de calcio y magnesio fueron altos. Además, presentó un adecuado contenido de potasio y bajo contenido en sodio, según Paneque *et al.* (2010).

Se emplearon semillas comerciales de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del cultivar 'Tomeguín-93' Negra (Susceptible), de acuerdo con Baldoquín (2015) y Estrada *et al.* (2016), respectivamente.

Se empleó el biofertilizante Azofert®-F (Az): compuesto por la cepa Hg, especie *Rhizobium radiobacter*, procedentes del Instituto de Suelos, Ministerio de la Agricultura, Cuba, en una concentración de 6×10^8 UFC.mL⁻¹ y factores de nodulación en concentración de 10^{-5} M (Nápoles *et al.*, 2002).

El primer experimento se realizó en un cuarto de luces, bajo condiciones controladas, para evitar el efecto de las precipitaciones y el rocío, con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas de oscuridad, a 24 ± 2 °C de temperatura y 67 % de humedad relativa. El mismo se repitió dos veces y los resultados que se muestran corresponden a

las medias de ambas repeticiones, ya que los valores fueron similares. Se utilizaron recipientes plásticos de 7,5 cm de diámetro y 9,5 cm de altura, con un volumen de 357 cm³ y con perforaciones en el fondo para posibilitar el drenaje. En cada recipiente se depositaron 400 g del suelo descrito.

Se separaron las semillas del cultivar en dos grupos, unas que no fueron inoculadas y otras que se inocularon con Azofert®-F, a razón de 200 mL del biofertilizante por cada 50 kg de semilla en el momento de la siembra (Nápoles, 2003). Las semillas se sembraron a una profundidad de 5 mm.

Desde la siembra se mantuvieron los recipientes a capacidad máxima de retención de humedad, la cual se evaluó por el método gravimétrico con pesajes cada 24 horas, añadiéndose el agua perdida por evapotranspiración. A partir de los 15 días después de la siembra (DDS), fase en que apareció la primera hoja trifoliada, las plantas se sometieron a dos condiciones de humedad, consistentes en: H₁: Humedad al 100 % y H₂: Humedad al 50 % de la capacidad máxima de retención (déficit hídrico).

Los tratamientos quedaron conformados según se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos empleados en el estudio.

Humedad	Tratamientos	
100 %	T1	Tomeguín-93 + Azofert®-F
	T2	Tomeguín-93 - Azofert®-F
50 %	T3	Tomeguín-93 + Azofert®-F
	T4	Tomeguín-93 - Azofert®-F

Por cada tratamiento se utilizaron 30 recipientes, con una planta en cada uno, para un total de 120 plantas en cada experimento. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado para la distribución de los tratamientos.

A los 24 y 31 DDS se tomaron diez plantas por tratamiento y se les realizaron las evaluaciones siguientes, longitud de la raíz principal (cm) y superficie foliar total (cm²).

Para las variables de la nodulación se evaluó el número de nódulos totales por planta (U) y la efectividad de los nódulos (%) a los 35 DDS.

El segundo experimento se realizó bajo condiciones de campo durante el período 2019-2020, en los meses comprendido de octubre-enero.

Se utilizó un diseño de parcela dividida en el que la parcela principal estuvo constituida por el factor riego con dos niveles de humedad, 100 % y 50 % de la norma de riego recomendadas por el Instructivo técnico del cultivo (MINAG, 2010). Las subparcelas estuvieron constituidas por el factor inoculante, en este caso Azofert®-F y tuvieron 5 m de largo y 2,8 m de ancho, con un área total de 14,00 m² y un área de cálculo de 6,30 m², por descuento de los dos surcos laterales y 0,25 m al principio y final de cada surco, con el objetivo de eliminar el efecto de borde. Se utilizó un marco de siembra de 0,70 m entre surcos y 0,05 m entre plantas.

Se aplicó en el momento de la siembra (aplicación de fondo) la fórmula completa (9-13-17, a razón de 600 kg.ha⁻¹) y urea (60 kg ha⁻¹) a los 25 DDS (MINAG, 2010).

Se conformaron cuatro tratamientos distribuidos al azar y cuatro réplicas. Los porcentajes de humedad del suelo (Phs) se controlaron antes y después del riego o lluvia caída, a una profundidad de 30 cm. Las muestras se tomaron con una barrena en tres puntos por cada parcela y se secaron en una estufa a 110 ± 5 °C hasta masa constante. Los datos se expresaron gráficamente como porcentaje de humedad del suelo (%), en base seca, para esto se empleó el método gravimétrico y el cálculo mediante la ecuación:

$$Phs = (Mf - Ms) / Mf \times$$

100

Donde: Phs, porcentaje de humedad del suelo; Mf, masa fresca y Ms, masa seca de la muestra.

Las variables climáticas se registraron en la Estación Meteorológica del municipio Jiguaní situada a 400 m de la Empresa Agropecuaria Jiguaní "El Cucán". El riego se realizó por aspersión con máquina pivot central, con una frecuencia decenal, según el Instructivo técnico del cultivo (MINAG, 2010). A partir de los 15 DDS se aplicó el tratamiento de reducción de la humedad del suelo (50 % de la norma de riego) hasta 15 días antes de la cosecha.

En el momento de la cosecha, correspondiente a los 85 DDS, cuando las plantas tenían la madurez técnica, se tomaron 10 plantas por tratamiento y se realizaron las siguientes evaluaciones:

- ✓ Número de vainas por planta
- ✓ Masa fresca de vainas por plantas (g)
- ✓ Número de granos por vaina (U)
- ✓ Masa de los granos por planta (g)
- ✓ Masa fresca de 100 granos (g)
- ✓ Rendimiento estimado (t.ha⁻¹).

Los datos obtenidos de todos los experimentos se procesaron mediante el paquete estadístico SPSS 22,0 para Windows. La distribución normal de los datos se comprobó con la prueba de Kolmogorov–Smirnov y la homogeneidad de varianza por la prueba de Bartlett.

Para procesar los datos obtenidos en ambos experimentos se realizó un Análisis de Varianza con arreglo factorial, se tuvo en cuenta los factores humedad, cultivar e inoculante. Las medias se compararon según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan (p ≤0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan corresponden al experimento que se desarrolló en las condiciones controladas, se tomaron las medias de las dos repeticiones ya que los valores fueron similares. El análisis estadístico de los datos de este experimento permitió concluir que solo se

encontró interacción entre los factores nivel de humedad e inoculación con Azofert®-F, para todas las variables evaluadas, donde aparecen los

valores de F (Fischer) calculados. Los valores medios de las dos repeticiones en el tiempo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Interacción entre los factores nivel de humedad-inoculación con Azofert®-F, para todas las variables evaluadas en el cultivar de frijol 'Tomeguín-93', susceptible a la sequía (análisis de varianza $p \leq 0,05$).

Efecto	LR (cm)		SF (cm ²)		NNP	NNE
	24 DDS	31 DDS	24 DDS	31 DDS	35 DDS	35 DDS
Intercepto	124,72*	133,38*	164,83*	170,51*	276,47*	267,84*
Cultivar	112,23*	145,48 ns	153,49*	166,21 ns	261,30*	253,79*
Agua	114,43*	122,53*	142,52*	159,53*	279,00*	270,35*
Azofert®-F	117,45*	131,98*	150,71*	162,36*	268,14*	264,97*
Cultivar*Agua	19,77 ns	22,58 ns	15,33 ns	18,00 ns	32,22 ns	29,17 ns
Cultivar* Azofert®-F	20,46 ns	24,31 ns	17,71 ns	19,42 ns	28,91 ns	26,89 ns
Agua* Azofert®-F	130,37*	146,09*	170,19*	176,45*	286,78*	278,92*
Cultivar*Agua* Azofert®-F	22,89 ns	25,43 ns	16,01 ns	19,78 ns	30,75 ns	27,95 ns

(LR: longitud de la raíz; SF: superficie foliar, NNP: número de nódulos por planta; NNE: número de nódulos efectivos, * significativo).

En relación con la longitud de la raíz se puede apreciar en la Figura 1, que tanto a los 24 como a los 31 DDS el cultivar 'Tomeguín-93' alcanzó los mayores valores cuando se aplicaron los tratamientos con un menor suministro de agua (50 %) e inoculados, seguidos por los tratamientos donde hubo escasez de agua sin inoculante y los menores valores de longitud radical se alcanzaron en los tratamientos no inoculados, pero mejor abastecidos de agua.

Una mayor longitud de la raíz en las plantas de los tratamientos con menor humedad en el suelo, indica su necesidad de explorar un mayor volumen de suelo para la absorción de agua, lo cual es de vital importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Polania *et al.*, 2017).

Resultados similares se muestran en un trabajo donde se inoculó el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y con *A. brasilense* (German *et al.*, 2000), estos autores encontraron un aumento ante la inoculación, en comparación con las plantas controles no inoculadas, en condiciones de estrés por sequía.

En este sentido Prudent *et al.* (2015), encontraron que la inoculación con *Bradyrhizobium* en cultivares de soya incrementó la longitud de la raíz en condiciones de estrés hídrico. De igual forma la inoculación con *Rhizobium* en plantas de trigo a los 10, 25, 40 y 55 días, en condiciones similares de estrés, incrementó la longitud de la raíz (Vimala *et al.*, 2018).

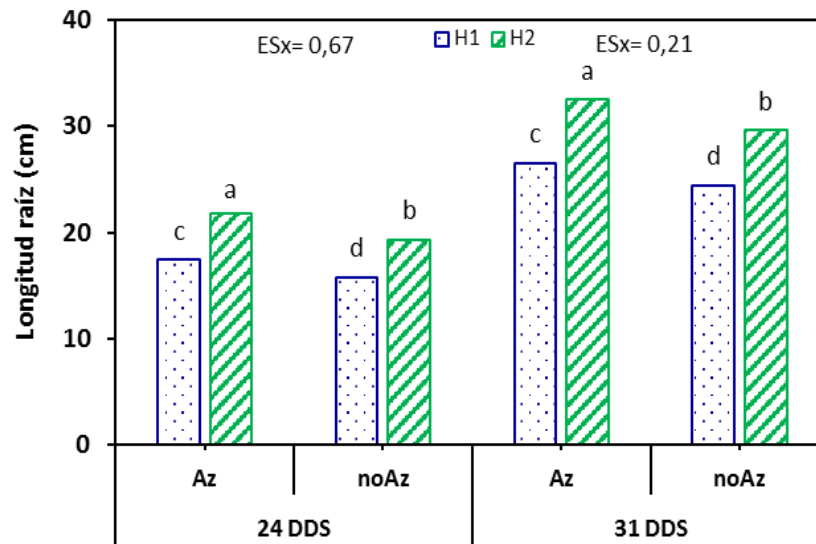


Figura 1. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en la longitud de la raíz de plantas de frijol expuestas a dos niveles de humedad en el suelo: 100 % (H1) y 50 % (H2) a los 24 y 31 DDS. Cultivar Tomeguín-93. (Medias con letras iguales para cada momento de evaluación no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$).

Los cultivares que exhiben mayor longitud y volumen de raíz, así como la presencia de raíces finas mostraron mayor éxito reproductivo. Polania *et al.* (2017) encontraron una asociación positiva entre un sistema de raíces más profundo y vigoroso, con la movilización de fotosintatos lo que contribuyó al incremento de la producción de vainas y semillas en frijol común.

El análisis de la superficie foliar (Figura 2) evaluada tanto a los 24 como a los 31 DDS, en el cultivar 'Tomeguín-93', mostró que los mayores valores de esta variable se alcanzaron en las plantas inoculadas con Azofert®-F y con una humedad de 100 %, seguido por el tratamiento no inoculado, pero sin restricciones de humedad, aunque se debe señalar que en estos dos tratamientos no se mostraron diferencias a los 31 DDS.

Los menores valores en la superficie foliar se correspondieron a los tratamientos sin inocular y

con el 50 % de la humedad. La superficie foliar resulta fundamental para determinar el estado de nutrición, predecir el crecimiento, la absorción de carbono, la tasa de transpiración, el aporte de hojarasca al suelo, el uso eficiente del agua y la conversión de fotoasimilados; además, como indicador de procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración y la evaporación (Vallejos *et al.*, 2019).

En un trabajo similar a este, los autores encontraron que el estrés hídrico en plantas de *Phaseolus vulgaris* afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas, en el tratamiento con el 50 % de humedad, aunque el 75 % de humedad estimuló el área foliar (Reyes *et al.*, 2014).

Según Passioura (2002), la variación de la superficie foliar es una de las respuestas macroscópicas más tempranas en plantas que sufren déficit hídrico.

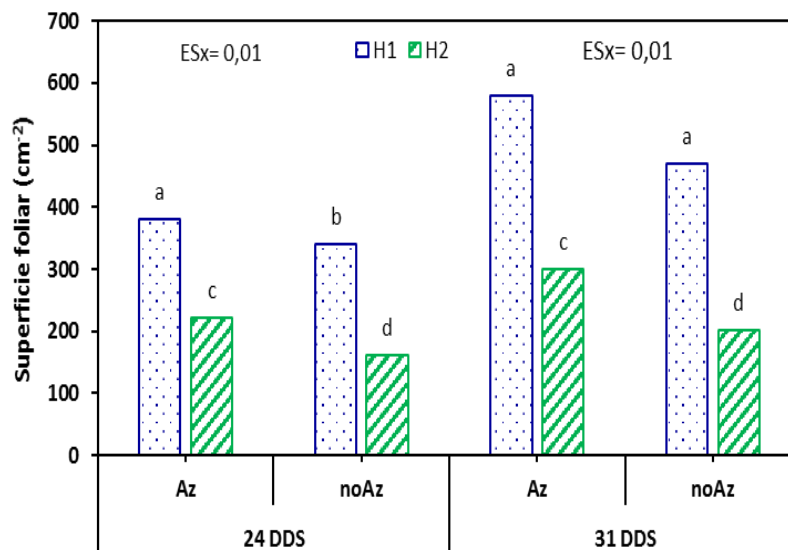


Figura 2. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en la superficie foliar de plantas de frijol cultivar 'Tomeguín-93' expuestas a dos niveles de humedad en el suelo: 100 % (H1) y 50 % (H2) a los 24 y 31 DDS. (Medias con letras iguales para cada momento de evaluación no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$).

Mondani *et al.* (2018), encontraron que la inoculación con bacterias promotoras del crecimiento vegetal, incrementó significativamente la superficie foliar en plantas de soya antes diferentes regímenes de riego, este incremento se debe, según explicaron a la mejora de la fotosíntesis neta y como consecuencia se obtiene una mayor acumulación de masa seca en las hojas.

Al analizar el número de nódulos totales formados sobre plantas de frijol a los 35 DDS ante las dos condiciones de humedad (Figura 3), se pudo observar que hubo una mayor nodulación en los tratamientos que recibieron el 100 % de humedad y se inocularon con Azofert®-F.

La presencia de condiciones de humedad adecuada, favoreció la formación y funcionamiento de estas estructuras, así como lógicamente la inoculación de la bacteria a fin a este cultivo. Los menores valores alcanzados por estos indicadores correspondieron al tratamiento no inoculado y con menor abastecimiento hídrico.

Según Figueiredo *et al.* (2008), la coinoculación con *Rhizobium tropici* en plantas de frijol común incrementaron el número de nódulos en condiciones de estrés por sequía. Además, autores como (Tilak *et al.*, 2006), encontraron que la inoculación con *Rhizobium*, *Pseudomonas putida*, *P. fluorescens* y *Bacillus cereus* incrementaron significativamente la nodulación y el crecimiento de las plantas de frijol faba en condiciones de estrés hídrico. Mientras que, Atieno y Lesueur (2018), encontraron incrementos significativos en la nodulación de las leguminosas pertenecientes a los grupos de *Papilionoideae* y *Mimosoideae* que se inocularon con especies de rizobios pertenecientes a los géneros *Ensifer*, *Bradyrhizobium* y *Rhizobium*, adaptadas a las condiciones de estrés hídrico. En este mismo sentido se plantea que la inoculación con SMH12 incrementaron el número de nódulos y la masa seca de los nódulos en plantas de soya expuestas a condiciones de sequía (Kibido *et al.*, 2019).

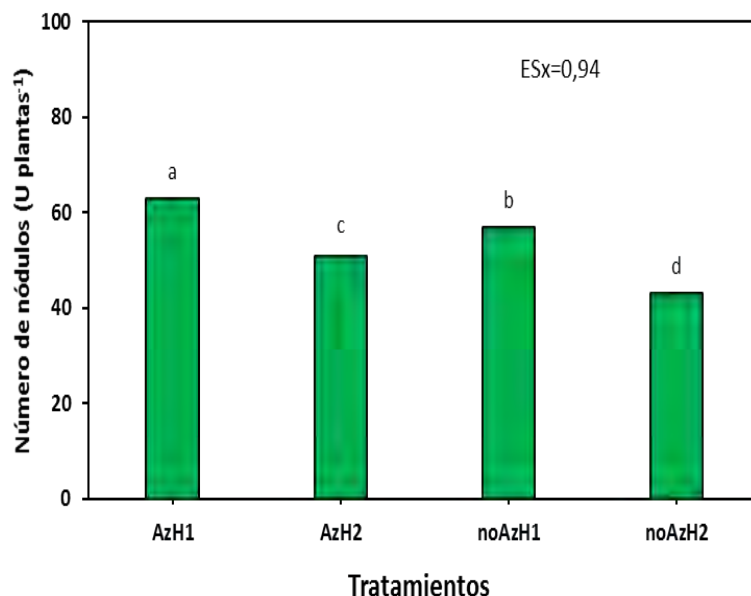


Figura 3. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en el número de nódulos de plantas de frijol cultivar 'Tomeguín-93' expuestas a dos niveles de humedad en el suelo: 100 % (H1) y 50 % (H2) a los 35 DDS. (Medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$).

La formación de nódulos y la masa seca total de las plantas de soya son sensibles al déficit hídrico esto conduce a una disminución de la fijación de nitrógeno, principalmente como resultado de la acumulación de ureidos en los tallos y asparagina en los nódulos y esto trae consigo un efecto negativo en el rendimiento (Fleixas, 2011).

En cuanto al número de nódulos efectivos también se observó un comportamiento similar en relación al número de nódulos por planta. La presencia de nódulos en las plantas no inoculadas, lo que pudiera deberse a que en el suelo utilizado residían poblaciones de rizobios afines con el frijol, los que lograron infectar sus raíces, aunque en menor cuantía que cuando se inoculó con Azofert®-F y con menor actividad (Figura 4).

Sin embargo, Youssef *et al.* (2016) informaron que la disminución de la nodulación inducida por la sequía fue prevenida con la inoculación de

bacterias fijadoras de nitrógeno simbióticas, lo cual indicó un incremento en la nodulación. Varias cepas rizobiales han mostrado un alto nivel de tolerancia a la sequía en simbiosis con genotipos de alfalfa tolerantes (Mouradi *et al.*, 2016).

La inoculación con rizobios ayudan a aliviar las condiciones de estrés hídrico lo cual estas bacterias contribuyen a un mejor desarrollo del sistema radicular en plantas de frijol e incide en una mejor eficiencia del mismo, a la vez que puede facilitar una mayor absorción de nitrógeno mediante el proceso de nodulación (Delfini *et al.*, 2010).

En tal sentido, Nápoles *et al.* (2009), encontraron que la inoculación con *Bradyrhizobium* incrementó la formación de nódulos en plantas de sojas en condiciones de déficit hídrico, aunque las plantas que no fueron tratadas se afectaron por la deficiencia hídrica.

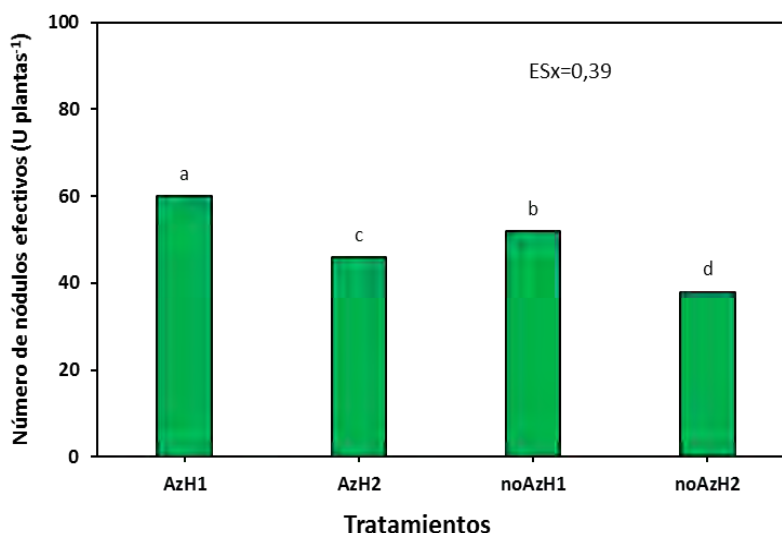


Figura 4. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en el número de nódulos efectivos de plantas de frijol cultivar 'Tomeguín-93' expuestas a dos niveles de humedad en el suelo: 100 % (H1) y 50 % (H2) a los 35 DDS. (Medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$).

Los resultados que se presentan corresponden al experimento que se desarrolló en las condiciones de campo. El análisis estadístico de los datos de este experimento mostró una triple interacción entre los factores estudiados: humedad y

fertilización, para todas las variables evaluadas, donde aparecen los valores de F (Fischer) calculados. Los valores medios se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Interacción entre los factores nivel de humedad-cultivar-inoculación con Azofert®-F., para todas las variables evaluadas en el cultivar de frijol 'Tomeguín-93', susceptible a la sequía (análisis de varianza $p \leq 0,05$).

Efecto	NVP	NGV	NGP	MGP (g)	MF100G (g)	Rend (t.ha ⁻¹)
Intercepto	200,36*	161,77*	283,00*	168,24*	206,83*	1111,62*
Agua	204,47*	164,89*	286,70*	171,86*	209,26*	1114,78*
Inoculación	197,51*	158,30*	280,18*	165,37*	201,47*	1108,91*
Cultivar	26,39 ns	19,73 ns	276,11*	18,51 ns	26,51 ns	94,35ns
Agua* Inoculación	193,72*	150,96*	271,28*	159,59*	197,52*	1092,43*
Agua*Cultivar	28,53 ns	20,81 ns	30,57 ns	19,72 ns	28,87 ns	96,71 ns
Agua*Inoculación*Cultivar	213,76*	175,93*	294,47*	182,86*	217,39*	1122,00*

(NVP: número de vainas por planta; NGV: número de granos por vainas, NGP: número de granos por planta, MGP: masa de granos por planta, MF100G: masa fresca de 100 granos, Rend: rendimiento, * significativo).

Al analizar los componentes del rendimiento se pudo apreciar que la inoculación del frijol común con Azofert®-F en condiciones normales de riego

permitió alcanzar mejores características de las vainas y los componentes del rendimiento en sentido general (Tabla 4).

Tabla 4. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en los componentes del rendimiento de plantas de frijol cultivar 'Tomeguín-93' expuestas a dos niveles de humedad en el suelo, en el experimento realizado durante el 2019-2020.

Tratamientos	NVP	NGV	NGP	MGP (g)	MF100G (g)
T1	17,57 a	4,80 a	84,45 a	6,68 a	17,64 a
T2	16,02 ab	4,10 b	65,95 b	5,40 b	16,70 b
T3	14,70 b	3,55 c	52,57 bc	4,77 c	16,18 b
T4	13,70 b	3,00 d	41,37 c	2,42 d	14,73 c
CV (%)	14,11	18,64	31,06	33,17	7,34
EE	0,54	0,18	4,74	0,39	0,29

(**NVP**: Número de vainas por planta, **NGV**: Número de granos por vaina, **NGP**: Número de granos por planta, **MGP**: Masa fresca de granos por planta, **MF100G**: Masa fresca de 100 granos, **T1** (100 % norma de riego + Azofert®-F), **T2** (100 % norma de riego - Azofert®-F), **T3** (50 % norma de riego + Azofert®-F), **T4** (50 % norma de riego - Azofert®-F). Medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$).

Como era de esperar los tratamientos que recibieron un menor aporte del 50 % de humedad mostraron un comportamiento inferior, al no disponer del agua necesaria durante la etapa reproductiva del cultivo, sin embargo, es necesario resaltar el efecto positivo del Azofert®-F en las características de las vainas y los componentes del rendimiento en condiciones de déficit hídrico. Los indicadores número de granos por vainas, masa de granos por planta y masa fresca de 100 granos mostraron diferencias significativas entre estos dos tratamientos en el cultivar estudiado.

De forma general se debe destacar que el efecto positivo del Azofert®-F en condiciones de estrés hídrico. Según, Namugwanya *et al.* (2018) al evaluar cinco cultivares de frijol común en dos condiciones de humedad comprobaron que se redujo el número de vainas por plantas entre un 24-53 % en todos los cultivares. De igual forma

disminuyó el número de granos por plantas, así como la masa fresca de 100 granos. Sin embargo, Aamir *et al.* (2013), encontraron que la inoculación con PGPR incrementó el número de vainas por plantas de frijol mungo en condiciones de estrés salino.

Se ha planteado que el frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor (Reyes *et al.*, 2014), con frecuencia presente de forma simultánea en áreas de secano, en las etapas fenológicas más sensibles de la planta para la formación del rendimiento: inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de granos, lo cual corrobora los resultados obtenidos en el presente experimento en el tratamiento que estuvo sometido al 50 % de humedad durante todo el ciclo.

Estos autores señalaron además que el déficit hídrico disminuye la calidad de la producción; así

como afecta significativamente el rendimiento, dado por la disminución en la cantidad de granos y el número de vainas, cuando ocurre durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano, aspecto que también fue comprobado por (Polania *et al.*, 2016).

Por otro lado, Khaleghnezhad y Jabari (2015) estudiaron el efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del garbanzo en condiciones de estrés hídrico y encontraron incrementos significativos en el número de granos por planta, masa de los granos, masa de las vainas por planta, así como en el rendimiento.

En otras especies se ha comprobado que en condiciones de estrés hídrico ocurre una severa afectación en la traslocación de asimilados producidos en las hojas hacia los órganos

reproductivos entre ellos los granos y vainas (Ruíz, 2015).

En la Figura 5 se muestra el comportamiento del rendimiento en las condiciones estudiadas. Se puede observar que todos los tratamientos mostraron diferencias significativas. En tal sentido se puede apreciar que los mayores rendimientos se alcanzaron en el tratamiento que recibió el 100 % de humedad e inoculado con Azofert®-F seguido del tratamiento que mantuvo esta condición de humedad y no se inoculó, aunque, los menores valores se alcanzaron en los tratamientos que recibieron un aporte del 50 % de humedad y se inoculó mientras que, los menores valores se obtuvieron en el tratamiento que no fue inoculado con humedad al 50 % de la capacidad de campo.

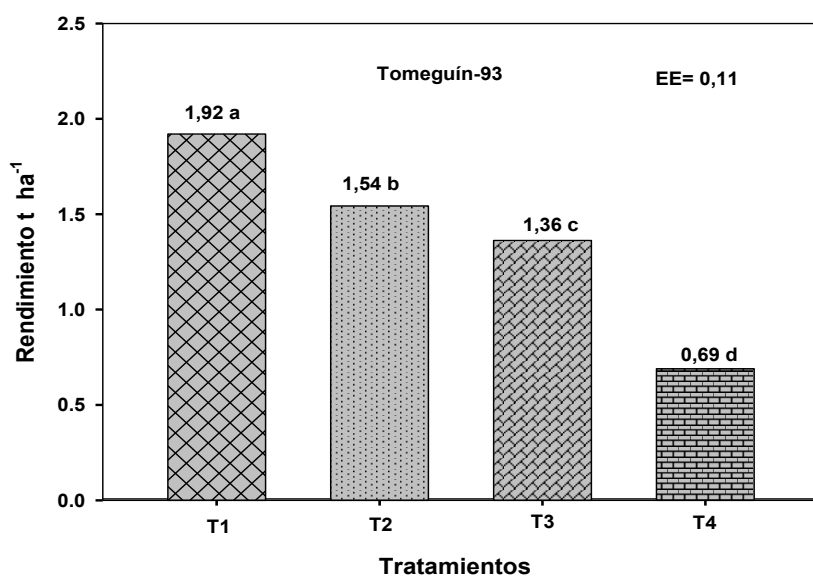


Figura 5. Efecto de la inoculación con Azofert®-F (Az) en el rendimiento de plantas de frijol expuestas a dos niveles de humedad en el suelo 100 % (H1) y 50 % de la norma de riego (H2), durante el 2019-2020. **T1** (100 % norma de riego + Azofert®-F); **T2** (100 % norma de riego - Azofert®-F); **T3** (50 % norma de riego + Azofert®-F); **T4** (50 % norma de riego - Azofert®-F). Medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan para $p \leq 0,05$.

Se ha comprobado que el empleo de productos bioestimulantes o biofertilizantes, constituyen una alternativa para promover incrementos en el rendimiento de los granos (Quintero *et al.*, 2018).

Por otra parte, Yanni *et al.* (2016) encontraron que la inoculación con *Rhizobium*, *R. radiobacter* y *R. etli*, incrementaron el rendimiento del cultivo del frijol en condiciones de estrés hídrico y salino. Además, Cerezini *et al.* (2016) encontraron que la coinoculación con *Azospirillum* y *Bradyrhizobium* aumentaron el rendimiento en el cultivo de la soya en condiciones de estrés hídrico.

Sin embargo, estos autores encontraron que la inoculación con rizobacterias que promueven el crecimiento vegetal en plantas de maíz incrementaron la resistencia y el rendimiento en condiciones de estrés abiótico (Yin *et al.*, 2018).

En este sentido se plantea que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal producen exopolisacáridos, fitohormonas, 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa y compuestos volátiles que incrementan el crecimiento y el rendimiento de cereales en condiciones de estrés hídrico (Khan y Bano, 2019).

En otros estudios se ha informado que la coinoculación con rizobios y bacterias promotoras del crecimiento vegetal no rizobiales incrementaron los rendimientos de diferentes leguminosas como en frijol común (Hungria *et al.*, 2013) y soya (Puente *et al.*, 2017) aunque en estos experimentos no estuvo presente la condición de estrés hídrico.

Otros autores, sin embargo, han encontrado variabilidad en la respuesta de los cultivares al rendimiento, ante condiciones moderadas y severas de déficit hídrico (Abdullah *et al.*, 2014).

Por otra parte, el uso de rizobacterias que promueven el crecimiento vegetal son de ayuda a las plantas a desarrollar la capacidad intrínseca y extrínseca para tolerar condiciones estresantes y

mantener el rendimiento (Chekwube y Oluranti, 2018).

CONCLUSIONES

- ✓ La inoculación con Azofert®-F al cultivo produjo un incremento positivo en longitud de la raíz, superficie foliar de la planta, incluso cuando se contó con una menor humedad en el suelo.
- ✓ El tratamiento a las semillas con Azofert®-F garantiza la formación de mayor cantidad de nódulos y efectivos en las raíces de frijol, tanto en condiciones de humedad como de déficit hídrico.
- ✓ La inoculación a las semillas con Azofert®-F permite incrementar los rendimientos y sus componentes del cultivar, tanto en condiciones de humedad como de déficit hídrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aamir, M.; Aslam, A.; Muhammad, Y.; Muhammad, U.; Ahmad, M.; Hafiz, N. y Ahmad, Z. (2013). Coinoculation with rhizobium and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for inducing salinity tolerance in mung bean under field condition of semi-arid climate. *Asian J. Agri. Biol.*, 1(1): 56-69.
- Abdullah, A.M.; Hossain, M.A.; Shamimuzzaman, M., Shafiur, R.E.H.; Ali, K.S. y Mahfuz, B. (2014). Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. *Journal of Plant Sciences*, 2(5): 201-208.
- Atieno, M. y Lesueur, D. (2018). Opportunities for improved legume inoculants: enhanced stress tolerance of rhizobia and benefits to agroecosystems. *Symbiosis*, 77:191-205. doi:10.1007/s13199-018-0585-9.
- Atti, S.; Bonnell, R.; Prasher, S. y Smith, D.L. (2005). Response of soybean (*Glycine max*

- (L.) Merr.) under chronic water deficit to LCO application during flowering and pod filling. *Irrig. Drain*, 54: 15-30.
- Baldoquín, M. (2015). Efecto de la sequía sobre el rendimiento y sus componentes de genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba. 80 p.
- Calero, A.; Castillo, Y.; Quintero, E.; Pérez, Y. y Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Cienc.*, 7(1): 88-100.
- Cerizini, P.; Harumi, B.; Barbosa, M.; Terassi, F.; Hungria, M. y Nogueira, M.A. (2016). Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. *Field Crops Research*, 1-8 p.
- Chekwube, M. y Oluranti O. (2018). The influence of plant growth promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18):7821–7835. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9214-z>.
- Delfini, R.; Belgoff, C.; Fernández, E.; Fabra, A. y Castro, S. (2010). Symbiotic nitrogen fixation and nitrate reduction in two peanut cultivars with different growth habit and branching pattern structures. *Plant Growth Regulation*, 6: 153-159.
- Dell Amico, D.; Jerez, E.; Rodríguez, P. y Álvarez, I. (2017). Efecto de dos variantes de riego y aplicaciones foliares de Pectimorf® en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 38(3): 129-134. ISSN: 0258- 5936.
- Estrada, W.; Jerez, E.; Nápoles, M.C.; Sosa, A.; Maceo, Y. y Cordoví, C. (2016). Respuesta de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la sequía utilizando diferentes índices de selección. *Cultivos Tropicales*, 37(3): 79-84. ISSN: 0258- 5936.
- Figueiredo, M.; Burity, H.; Martínez, C. y Chanway, C.P. (2008). Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymixa* and *Rhizobium tropici*. *Science Direct. Applied Soil Ecology*, 40: 182-188.
- Freixas, J.A. (2011). Influencia de los inoculantes a base de *Bradyrhizobium elkanii* 'ICA 8001', sobre la fijación biológica de nitrógeno en plantas de soya (*Glycine max* (L.) Merrill), con y sin déficit hídrico. Tesis de Maestría. Mayabeque, Cuba. 55 p.
- German, G.; García, A.; Faure, B.; Chaveco, O.; Méndez, N.; Toscano, V. y Mulling, M. (2000). Selección de genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Métodos Sostenibles. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana, Cuba. 92 p.
- González, O.; Abreu, B.; Herrera, M. y López, E. (2017). Uso del agua durante el riego del frijol en suelos Eutric Cambisol. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26(1): 70-77.
- Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba 2015, Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p. ISBN 978-959-7023-77-7.
- Hungria, M.; Nogueira, M.A. y Silva, R. (2013). Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, 49: 791-801.
- Jaemsaeng, R.; Jantasuriyarat, C. y Thamchaipenet, A. (2018). Molecular interaction of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACCD)-producing endophytic *Streptomyces* sp. GMKU 336 towards salt-stress resistance of *Oryza sativa* L. cv. KDML105. *Sci. Rep.*, 8: 1950.

- Khaleghnezhad, V. y Jabari, F. (2015). Effect of seed inoculation with Rhizobium and Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on yield and yield components of chickpea in irrigated and rainfed conditions. *J. Crop Improv. (J. Agric.)*, 16(4): 957-972.
- Khan, N. y Bano, A. (2019). Growth and yield of field crops grown under drought stress condition is influenced by the application of PGPR. Chapter 12. D.K. Maheshwari and S. Dheeman (eds.), *Field Crops: Sustainable Management by PGPR, Sustainable Development and Biodiversity* 23. ISBN: 978-3-030-30926-8.
- Kibido, T.; Kunert, K.; Makgopa, M. y Greve, M. (2019). Improvement of Rhizobium- soybean symbiosis and nitrogen fixation under drought. *Food Energy Secur*, 1-14 p.
- Land, P.L.; Zhen, W.Y.; Dong, W.; Yong, L.Z. y Shi, Y. (2011). Effects of plant density and soil moisture on photosynthetic characteristics of flag leaf and accumulation and distribution of dry matter in wheat. *Acta Agronómica Sinica*, 37(6): 1049-1059.
- MINAG (2010). Instrucciones técnicas para el manejo del cultivo del frijol. Dirección Nacional de Cultivos Varios. La Habana, Cuba. 25 p.
- Mondani, F.; Khani, K.; Jalali, S. y Saeidi, M. (2018). Evaluating effects of plant growth-promoting rhizobacteria on the radiation use efficiency and yield of soybean (*Glycine max*) under water deficit stress condition. *Agricultural Water Management*, 213: 707-713.
- Mouradi, M.; Bouizgaren, A.; Farissi, M.; Latrach, L.; Qaddoury, A. y Ghoulam, C. (2016). Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.)-rhizobia symbiosis under drought stress. *Sci. Hortic.*, 213: 232-242.
- Namugwanya, M.; Tenywa, J.S. y Otabbong, E. (2018). Response of common bean genotypes grown in soil with normal or limited moisture, with special reference to the nutrient phosphorus. *Agronomy*, 8(8): 132. doi:10.3390/agronomy8080132.
- Nápoles, M.C.; Gutiérrez, A. y Corbera, J. (2002). Medio de cultivo para *B. japonicum*. Biopreparado resultante". Certificado Nro. 22 797. Concedido por resolución No. 556/2002.
- Nápoles, M.C. (2003). Inducción de la nodulación en soya (*Glycine max*. L Merrill) por *Bradyrhizobium sp.* Influencia del medio de cultivo. Tesis en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Biológicas. La Habana. 119 p.
- Nápoles, M.C.; Guevara, E.; Montero, F.; Rossi, A. y Ferreira, A. (2009). Role of *Bradyrhizobium japonicum* induced by genistein on soybean stressed by water deficit. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(3): 665-671.
- ONEI (2018). Anuario Estadístico de Cuba Capítulo 9: Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. 2017. República de Cuba. (Fecha de consulta: 16 de abril de 2019). Disponible en: <http://www.onei.cu>.
- ONEI (2018). Anuario Estadístico de Cuba Panorama ambiental. Lluvia total anual por provincias. ONEI, República de Cuba. (Fecha de consultado: 30 sep. 2019). <http://www.onei.cu/publicacionespdf>.
- Paneque, V.M.; Calaña, J.M.; Calderón, M.; Borges, Y.; Hernández, T. y Caruncho, M. (2010). Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las plantas. INCA. 62 p. ISBN: 978-050-7023-50-0.

- Passioura, J.B. (2002). Soil conditions and plant growth. *Plant Cell and Environment*, 25: 311-318.
- Polania, J.; Poschenrieder, C.; Rao, I.; Beebe, S. y Ryser, P. (2017). Root traits and their potential links to plant ideotypes to improve drought resistance in common bean. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 29: 143-154.
- Prudent, M.; Salon, C.; Souleimanov, A.; Emery, R.J. y Smith, D.L. (2015). Soybean is less impacted by water stress using *Bradyrhizobium japonicum* and thuricin-17 from *Bacillus thuringiensis*. *Agron. Sustain Dev.*, 35: 749–757. doi:10.1007/s13593-014-0256-z.
- Puente, M.L.; Gualpa, J.L.; Lopez, G.A.; Molina, R.M.; Carletti, S.M. y Cassán, F.D. (2017). The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. *Symbiosis* (Online). <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0536-x>.
- Quintero, E.; Calero, A.; Pérez, Y. y Gómez, L.E. (2018). Efecto del diferentes bioestimulantes en el rendimiento del frijol común. *Revista Centro Agrícola*, 45(3): 73-80.
- Reyes, J.; Martínez, D.; Rueda, R. y Rodríguez, T. (2014). Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2): 191-203.
- Rodríguez, M. (2017). Respuesta agroproductiva de cuatro cultivares comerciales de *Phaseolus vulgaris* L. en época tardía. Tesis presentada para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central Martha Abreu de las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Villa Clara, Cuba. 37 p.
- Ruiz, M. (2015). Comportamiento del arroz (*Oryza sativa* L.) inoculado con hongos micorrizicos arbusculares y expuesto a diferentes a diferentes condiciones hídricas en el suelo. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. 100 p.
- Saikia, J.; Sarma, R.K.; Dhandia, R.; Yadav, A.; Bharali, R.; Gupta, V.K. y Saikia, R. (2018). Alleviation of drought stress in pulse crops with ACC deaminase producing rhizobacteria isolated from acidic soil of Northeast India. *Sci. Rep.*, 8: 3560.
- Tilak, K.V.B.R.; Ranganayaki, N. y Manoharachari, C. (2006). Synergistic effects of plant-growth promoting rhizobacteria and *Rhizobium* on nodulation and nitrogen fixation by pigeon pea (*Cajanus cajan*). *European Journal of Soil Science*, 57: 67-71.
- Vallejos, B.; Ponce, D.; Heinrich, P. y Doll, U. (2019). Área y biomasa foliar total de *Nothofagus glauca* (Phil) Krasser en zona Andina, Región del Maule, Chile. *Colombia Forestal*, 22(2): 5-14.
- Vimala, S.; Manohar, N. y Jayashree, S. (2018). Influence of *Rhizobium* on the growth and symbiotic performance of *Arachis hypogaea* L. under the water stress condition. *American Journal of Agricultural Science*, 5(1): 10-18.
- Yanni, Y.; Zidan, M.; Dazzo, F.; Rizk, R.; Mehesen, A.; Abdelfattah, F. y Elsadany, A. (2016). Enhanced symbiotic performance and productivity of grought stressed common bean after inoculation with tolerant native rhizobia in extensive fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 119-128.
- Yin, A.; Jia, Y.; Qiu, T.; Gao, M.; Cheng, S.; Wang, X. y Sun, Y. (2018). Poly-c-glutamic acid improves the drought resistance of maize seedlings by adjusting the soil moisture and microbial community structure. *Appl. Soil Ecol.*, 129: 128–135.
- Youssef, Y.; Zidan, M.; Dazzo, F.; Rizk, A.; Abdelfattah, F. y Elsadany, A. (2016).

Enhanced symbiotic performance and productivity of drought stressed common bean after inoculation with tolerant native

rhizobia in extensive fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 119-128.

Fecha de recepción: 2 de noviembre 2021

Fecha de aceptación: 10 de diciembre 2021

Agrotecnia de Cuba

ISSN impresa: 0568-3114

ISSN digital: 2414- 4673

<http://www.grupoagricoladecuba.gag.cu>

