

Efecto de aislados endófitos sobre el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en condiciones controladas

Effect of endophyct isolates on sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in controlled condiction

Francisco Raymundo Pérez¹, René Cupull Santana², Yelenys Alvarado Capó³, Bladimir Díaz Martín¹ y Roldán Torres Gutiérrez¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5.5, Santa Clara. 54830. Cuba.

² Centro de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

³ Instituto de Biotecnología de Las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

E-mail: roldantg@uclv.edu.cu

RESUMEN. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto de aislados bacterianos endófitos sobre el desarrollo del cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. UDG 110. Mediante un experimento en condiciones controladas se pudo dilucidar el efecto de los aislados previamente caracterizados morfológicamente sobre parámetros de crecimiento del cultivo y biomasa de las plantas. Los resultados demostraron que de 37 aislados endófitos, 8 de ellos fueron seleccionados, los cuales se compararon entre ellos y con el tratamiento control para determinar las diferencias estadísticas frente a los parámetros de crecimiento y biomasa de las plantas. Varios endófitos tuvieron la capacidad de estimular el largo de la raíz y el peso fresco y seco del follaje y la raíz, desatancándose los aislados 5, 8 (aislados a los 7 días), 22 (aislado a los 60 días) y 36 (aislado de las semillas). Estos resultados demuestran la efectividad de la aplicación de microorganismos endófitos para lograr incrementos en los parámetros de crecimiento y biomasa de este importante grano, así como para la ulterior producción de inoculantes a base de cepas nativas eficientes.

Palabras clave: Bacteria endófitas, sorgo.

ABSTRACT. This study aims to determine the effect of endophytic bacterial isolates on the development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. UDG 110. By means of an experiment under controlled conditions could elucidate the effect of isolates on crop growth parameters and plant biomass. The results demonstrated that from 37 isolates, 8 of them were selected due to the best results upon the evaluations, which were compared among them and with the control treatment to determine the statistical differences on growth parameters and plants biomass. Several endophytes were able to stimulate the root length, the fresh and dry shoot and roots weight, resulting the most relevant the isolates the 5, 8 (isolated at 7 days), 22 (isolated at 60 days) and 36 (isolated from the seeds). These results demonstrate the effectiveness of the implementation of endophytic microorganisms to achieve increases in growth parameters of this important grain and for the further production of inoculants based on efficient native strains.

Key words: endophytic bacterial, sorghum.

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal de importancia en el mundo después del trigo, el maíz, el arroz y la cebada (FAO, 2008). A nivel de planeta más del 35% del sorgo es cultivado para el consumo humano, el resto se utiliza principalmente para la alimentación animal, producción de alcohol y productos industriales. Se cultivan más de 40 millones de hectáreas, sobre todo, en China, India, Brasil y África.

Este cultivo tiene a escala mundial gran importancia en la actualidad, pues está comprobado que puede sustituir a cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos que los mismos presentan, tanto en la alimentación humana, como en la producción de forrajes o granos para la cebsa de animales y por su diverso uso industrial. En Cuba a pesar de que no existe tradición de cultivo de este cereal se han dado pasos importantes en la extensión del mismo

en el país ya que constituye una alternativa viable y factible (Saucedo *et al.*, 2005). La necesidad de reducir importaciones, debido a los altos precios del trigo y otros cereales a nivel internacional, ocasionado en buena medida por las dificultades para su adquisición a su vez motivadas por el férreo bloqueo impuesto a Cuba por EE.UU., recomiendan el sorgo para la producción de granos destinados a la elaboración de productos para la alimentación humana. Por otro lado, el desarrollo que es necesario alcanzar en la cría de aves y cerdos para garantizar los planes alimentarios del país está motivando a los productores a la siembra de sorgo y otros granos para producir alimento para los animales de cría.

La disponibilidad de nutrientes para este cultivo depende de distintos factores, entre los que se incluyen los tipos de suelos, la rotación, el cultivo antecesor, los sistemas de labranza y las condiciones ambientales. En Cuba en la actualidad no existe disponibilidad de fertilizante químico para este cultivo y se hace necesario el desarrollo del mismo bajo condiciones de sostenibilidad con muy bajos insumos.

Las bacterias endófitas, o sea, aquellas que viven dentro de los tejidos de la planta sin causarle daños a la misma pudieran representar una alternativa ante la carencia de fertilizantes químicos en este cultivo, ya que los estos ejercen un marcado efecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas y a las vez para aumentar los rendimientos de los cultivos, eliminar contaminantes, inhibir patógenos, fijar nitrógeno y producir sustancias que estimulen el desarrollo vegetal (Dobbelaere, 2002). La diversidad de efectos y funciones que estas bacterias pueden causar en las plantas ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, en nuestro país no se han llevado a cabo investigaciones enfocadas a la utilización de endófitos en el cultivo del sorgo, ni tampoco el modo de acción por el cual establecen la estimulación. El desafío y la meta es poder manejar las comunidades microbianas para favorecer la colonización de la planta por las bacterias beneficiosas. Las contribuciones en este campo de la investigación pueden tener notables impactos económicos y medioambientales. Teniendo en cuenta la importancia de este cultivo para las condiciones cubanas y en especial para la región

central, por ser diseminadores de este grano a nivel nacional, así como por la necesidad de contar con alternativas para lograr una adecuada nutrición y protección de las plantas basadas en técnicas sostenibles, proponemos como objetivo de esta investigación determinar la influencia de aislados endófitos sobre parámetros de crecimiento y biomasa del cultivo del sorgo en condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 37 aislados endófitos se analizaron en condiciones controladas para determinar la influencia de los mismos sobre parámetros de crecimiento y la biomasa del cultivo del sorgo en condiciones controladas.

El experimento se realizó en casa de cultivo del Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Se analizaron todos los aislados previamente caracterizados morfológicamente para determinar el efecto de estos sobre parámetros morfológicos y fisiológicos del cultivo del sorgo variedad UDG-110.

Se utilizaron bolsas de polietileno de 1 kg, las que contenían como sustrato compost a partir de cachaza mezclado con zeolita en proporción 80% (compost)/20% (zeolita) respectivamente con un contenido de materia orgánica total de 11.4%. La zeolita utilizada no se encontraba cargada y contó con una granulometría de 1-3 mm. Se realizó un análisis microbiológico al sustrato utilizado, para conocer las proporciones de hongos, bacterias y actinomicetos presentes en el mismo. Se utilizó la metodología propuesta por Mayea *et al.* (1998), la cual se basa en diluciones cuantitativas y siembra en placas, utilizándose las diluciones de 10^3 , 10^4 y 10^5 para el conteo de hongos bacterias y actinomicetos respectivamente.

Preparación del inóculo, inoculación y montaje del experimento

El crecimiento de las cepas se realizó en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Todos los aislados procedentes de los tiempos de muestreos se sembraron en medio caldo nutriente (UNI-CHEM) presentando la siguiente composición: peptona 10g, extracto de carne 3g, cloruro de sodio 5g y pH 7.4 ± 0.2 .

Las bacterias se mantuvieron en agitación continua durante 24 horas en una zaranda orbital marca GERHARDT a 130 rpm a una temperatura de 30°C. Luego de la incubación se realizó un conteo de células viables para disponer con títulos en cada uno de los cultivos de 10^8 a 10^9 ufc ml⁻¹. Cada aislado utilizado fue un tratamiento el experimento en condiciones controladas. La inoculación se realizó aplicando 2 ml del cultivo de cada aislado por punto de siembra de las semillas en la bolsa. En el tratamiento control se añadieron 2 ml de agua común.

Se dispuso de un diseño experimental totalmente aleatorizado con 4 réplicas. Antes de plantadas e inoculadas las semillas, estas se desinfectaron durante 1 minuto en etanol 100% y lavadas intensamente (más de 6 veces) con agua destilada estéril. Se sembraron un total de 4 plantas por cada bolsa, lo que condujo a un total de 16 plantas por tratamiento. A la semana posterior a la brotación se realizó el raleo dejando 1 planta por punto de siembra, o sea, dos plantas por bolsa.

Condiciones de crecimiento y evaluaciones

Las bolsas se depositaron en la cámara 1 de la fase de aclimatación del IBP, donde contaron con adecuada iluminación y humedad. El riego fue de manera automatizada dos veces al día, 10:00 am y 3:00 pm durante 5 minutos con una norma de riego 0.375 m³/ha x aspensor por cada riego. No se detectaron plagas, enfermedades ni malezas en todo el ciclo del experimento.

A los 7 días después de sembrado el experimento comenzaron las evaluaciones, analizándose en esa etapa el porcentaje de brotación de las semillas en los diferentes tratamientos. A los 45 días después de la siembra se cosechó el experimento, realizándose las siguientes evaluaciones para determinar el efecto de los endófitos sobre los parámetros de crecimiento y la biomasa de las plántulas de sorgo: altura de las plantas (cm), ancho de las hojas (cm), diámetro del tallo (cm), largo de la raíz (cm), peso fresco de las hojas (g), peso seco de las hojas (g), peso fresco de la raíz (g) y peso seco de la raíz (g).

Luego del análisis de la biomasa de las plantas, se precedió a determinar el porcentaje de nitrógeno

(%N) total y el contenido de proteína bruta (P.B) en el follaje de las plantas, tomando 2 réplicas como muestra. Para esta determinación se utilizó el método Kjeldahl (1980), el cual se basa en la transformación del N contenido en la muestra en sulfato de amonio (Na₂SO₄) mediante la digestión con ácido sulfúrico H₂SO₄ en presencia de selenio (Se) como catalizador (Se 5g /1 L de H₂SO₄). El ion amonio (NH₄⁺) obtenido se transforma en medio básico (NaOH) al 32%) en amonio (NH₄) que se destila y valora con una solución de ácido patrón (HCl 0.1 % N).

El cálculo del % N total se efectúa por la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{Vm - VB}{PM} * 0,14$$

Donde:

%N= porcentaje de N total de la muestra

Vm= volumen de la muestra

VB= volumen del blanco (H₂SO₄ sin muestra)

PM= peso de la muestra

El análisis estadístico se realizó utilizándose el paquete STATGRAPHIC Centurión XV para el sistema operativo Windows. Cada análisis se realizó teniendo en cuenta la normalidad de los datos a procesar.

Debido al elevado número de muestras a procesar, se compararon los aislados de cada uno de los grupos de procedencia para determinar las diferencias estadísticas entre estos. Se compararon los aislados obtenidos a los 7, 30 y 60 días y luego se determinaron los más prominentes según los resultados obtenidos frente a los parámetros evaluados, analizándose mediante el análisis de varianza simple *One Way ONOVA* y la prueba paramétrica de rangos múltiples de Tuckey HSD.

Los aislados de mejores respuestas en las evaluaciones realizadas se compararon entre ellos para determinar las diferencias estadísticas individuales de los tratamientos mediante un análisis de varianza simple (*One-Way ANOVA*) y la prueba paramétrica de rangos múltiples de Tuckey HSD con nivel de significación $p < 0.05$. En todos los casos evaluados se realizó la verificación de varianza para conocer la homogeneidad de estas y por consiguiente seleccionar la prueba paramétrica o no paramétrica idónea a utilizar.

Se realizó un análisis de correlación utilizándose el coeficiente de Pearson con niveles de significación $0.01 > p > 0.05$. La contribución de la estimulación del

AIA al crecimiento y formación de biomasa de las plantas se analizó mediante la correlación (R^2) de estos parámetros.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características del suelo y análisis del muestreo en diferentes periodos

Las semilla de sorgo de la variedad UDG-110 se sembraron en suelo Pardo Mullido Medianamente Lavado en la Estación Experimental Agrícola “Álvaro Barba” de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, el cual presentaba las siguientes características: materia orgánica 2.6%, P_2O_5 : 32.60 ($mg\ 100g^{-1}$), K_2O : 55.50 ($mg\ 100g^{-1}$) y pH (KCl) 6.8. Estos resultados demuestran la abundancia de nutrientes esenciales en el suelo, ya que tanto el contenido de fósforo como de potasio se catalogan de adecuados (Hernández *et al.*, 2004), sin embargo la materia orgánica tiende a ser ligeramente escasa, aspecto este muy frecuente para este tipo de suelo en la localidad evaluada (CITA). El análisis del pH evidencia un valor muy cercano a la neutralidad, por lo que es muy adecuado para el crecimiento de arqueas, bacterias y actinomicetos en estas condiciones.

Los resultados del análisis microbiológico al sustrato utilizado en el experimento en condiciones controladas demostró la abundancia de microorganismos en la mezcla compost-zeolita, donde se alcanzaron los siguientes niveles por los principales grupos microbianos: 8×10^5 ufc g^{-1} de

hongos, 9.2×10^7 ufc g^{-1} de bacterias y 4.6×10^6 ufc g^{-1} de actinomicetos. Estos resultados ponen en evidencia que las bacterias inoculadas en condiciones controladas pudieran realizar la misma acción en condiciones de campo, debido a la alta carga microbiana presente en el sustrato, la cual pudiera ser similar a las condiciones microbianas en un agroecosistema determinado.

Influencia de aislados endófitos sobre la brotación de plántulas de sorgo

Los resultados de las evaluaciones del experimento en condiciones controladas a partir de los 7 días de sembradas e inoculadas las semillas de sorgo se muestran en la figura 1. Al analizar el porcentaje de brotación de las plántulas de sorgo se puede apreciar que mediante la inoculación de diferentes aislados se pudo obtener niveles de brotación superiores al 90%, no siendo así con el tratamiento control (tratamiento 38). Dentro de las bacterias de mayor incremento en la brotación se destacan los aislados: 9, 10 (aislados a los 7 días), 11, 13, 14, 16 (aislados a los 30 días), 29, 30, 31, 33 y 34 (aislado de la semilla). En todos estos aislados la brotación fue superior al 90%, mientras que otros aislados tales como: 2 (aislado a los 7 días), 12 (aislado a los 30 días), 17, 20 (aislados a los 60 días), 36 y 37 (aislados de las semillas), obtuvieron niveles de brotación superior al 85%.

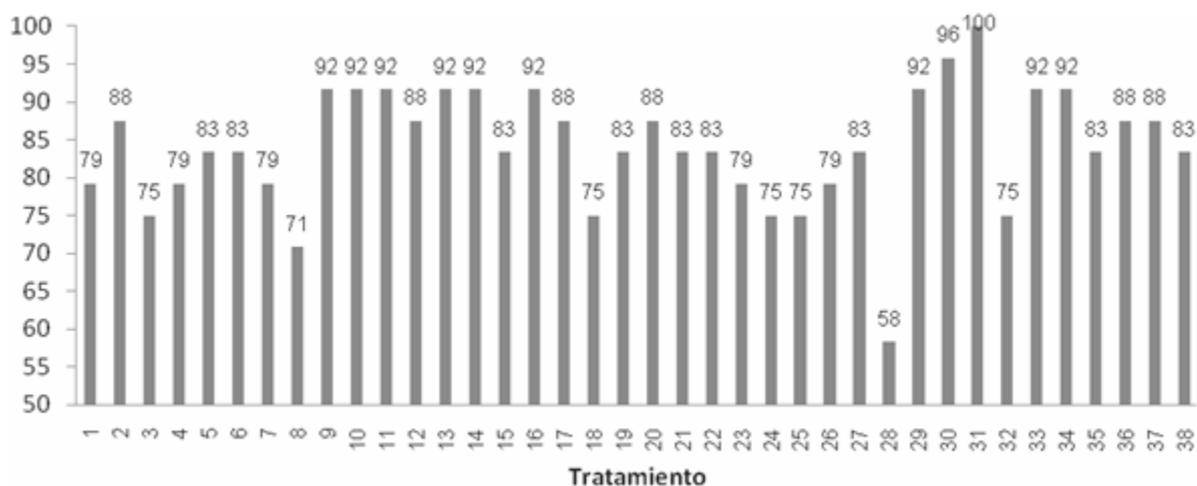


Figura 1. Porcentaje de brotación de semillas de sorgo var. UDG-110. Se muestran todos los aislados resultantes del análisis morfológico en comparación con el tratamiento control (38)

Se destacan los resultados obtenidos por aquellos endófitos aislados a los 30 días y aislados de las semillas, respecto a la brotación de las plántulas de sorgo. Estos resultados se encuentran en estrecha relación con los reportados por Idris *et al.*, (2009), al señalar que diferentes aislados bacterianos procedentes del cultivo del sorgo ejercen un marcado efecto sobre la germinación y parámetros de crecimiento de cultivares de sorgo.

Es significativo señalar que ninguno de los aislados resultantes como mayores productores de AIA no tuvieron incidencia en elevados porcentajes de brotación (mayor del 90%), sin embargo, los aislados 2 (aislado a los 7 días) y 36 (aislados de las semillas), los cuales tuvieron más del 85% de brotación, fueron superior al tratamiento control y pertenecieron al segundo grupo de aislados que tuvieron los mejores resultados en este parámetro. Teniendo en cuenta los mecanismos de acción de estos endófitos, se puede sugerir que la estimulación mediante la producción de auxinas no tuvo un efecto significativo en los primeros estadios del establecimiento del cultivo del sorgo. Estos resultados pueden deberse a la baja colonización de los endófitos en las primeras etapas del cultivo y a las especies de bacterias inoculadas, las cuales pueden requerir de mayor cantidad de tiempo para expresar su capacidad de producción de auxinas u otro mecanismo de acción que posibilite el

incremento de la germinación y brotación de las plantas en las primeras etapas del crecimiento. Según Khalid *et al.* (2004), las bacterias endofíticas requieren de las condiciones fisiológicas necesarias para la colonización en los tejidos vegetales y luego de su establecimiento pueden lograr los resultados esperados mediante los mecanismos de acción de la fijación de nitrógeno, producción de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal, la solubilización de fosfatos o los mecanismos indirectos de producción de sideróforos o sustancia que inhiben el desarrollo de agentes patógenos (Idris *et al.*, 2009).

Influencia de aislados endófitos sobre el crecimiento y biomasa de plántulas de sorgo

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos mediante la inoculación de los mejores aislados endofíticos sobre los parámetros de crecimiento de las plántulas de sorgo en condiciones controladas. Se destacan en estos resultados que al realizar la comparación entre las bacterias respecto a la altura de las plantas, en el ancho de las hojas y el diámetro del tallo puede apreciarse como no existieron diferencias significativas entre estos y el tratamiento control. Sin embargo, respecto al largo de la raíz se evidencia como mejor tratamiento el inoculado con el aislado 5 a los 7 días.

Tabla 1. Efecto de los aislados endófitos sobre los parámetros de crecimiento de plantas de sorgo

Tratamiento	Altura de plantas (cm)	Ancho de hojas (cm)	Diámetro tallo (mm)	Largo de raíz (cm)
2 (aislado a los 7 días)	43.80 ^a	1.94 ^a	0.46 ^a	16.05 ^b
3 (aislado a los 7 días)	43.69 ^a	1.84 ^a	0.47 ^a	17.08 ^b
4 (aislado a los 7 días)	45.19 ^a	1.68 ^a	0.46 ^a	20.75 ^{ab}
5 (aislado a los 7 días)	45.69 ^a	1.79 ^a	0.47 ^a	22.76 ^a
6 (aislado a los 7 días)	46.46 ^a	1.68 ^a	0.47 ^a	20.38 ^{ab}
8 (aislado a los 7 días)	45.31 ^a	1.95 ^a	0.50 ^a	19.00 ^{ab}
22 (aislado a los 60 días)	46.78 ^a	1.91 ^a	0.51 ^a	18.44 ^{ab}
36 (aislado de las semillas)	44.78 ^a	1.89 ^a	0.51 ^a	19.56 ^{ab}
38 (control)	40.18 ^a	1.71 ^a	0.47 ^a	16.22 ^b
<i>EE±</i>	0.74	0.04	0.09	0.50

Letras desiguales en una misma columna difieren para $P \leq 0.05$ por Tuckey HSD.

El efecto de las bacterias endófitas sobre la parte aérea y las raíces de las plantas ha sido ampliamente discutido, sin embargo, existe un consenso generalizado en la comunidad científica internacional que el mayor efecto de estas bacterias se ejerce en las raíces y luego se favorecen los órganos aéreos como responsables de la producción de sustancias de reserva para toda la planta (Suzuki *et al.*, 2004).

Aunque no se apreciaron diferencias estadísticas entre los aislados y en comparación con el

tratamiento control respecto a la altura, número de hojas y diámetro del tallo de las plántulas de sorgo, se puede apreciar en la figura 2 como al comparar los valores medios de los aislados con respecto a los resultados obtenidos con el tratamiento control, en la mayoría de los parámetros evaluados, existe una tendencia al incremento del efecto de los aislados en comparación con el control, teniendo porcentajes superiores en estos parámetros, especialmente con inoculación de los aislados 8 (aislado a los 7 días), 22 (aislado a los 60 días) y 36 (aislado de la semilla).

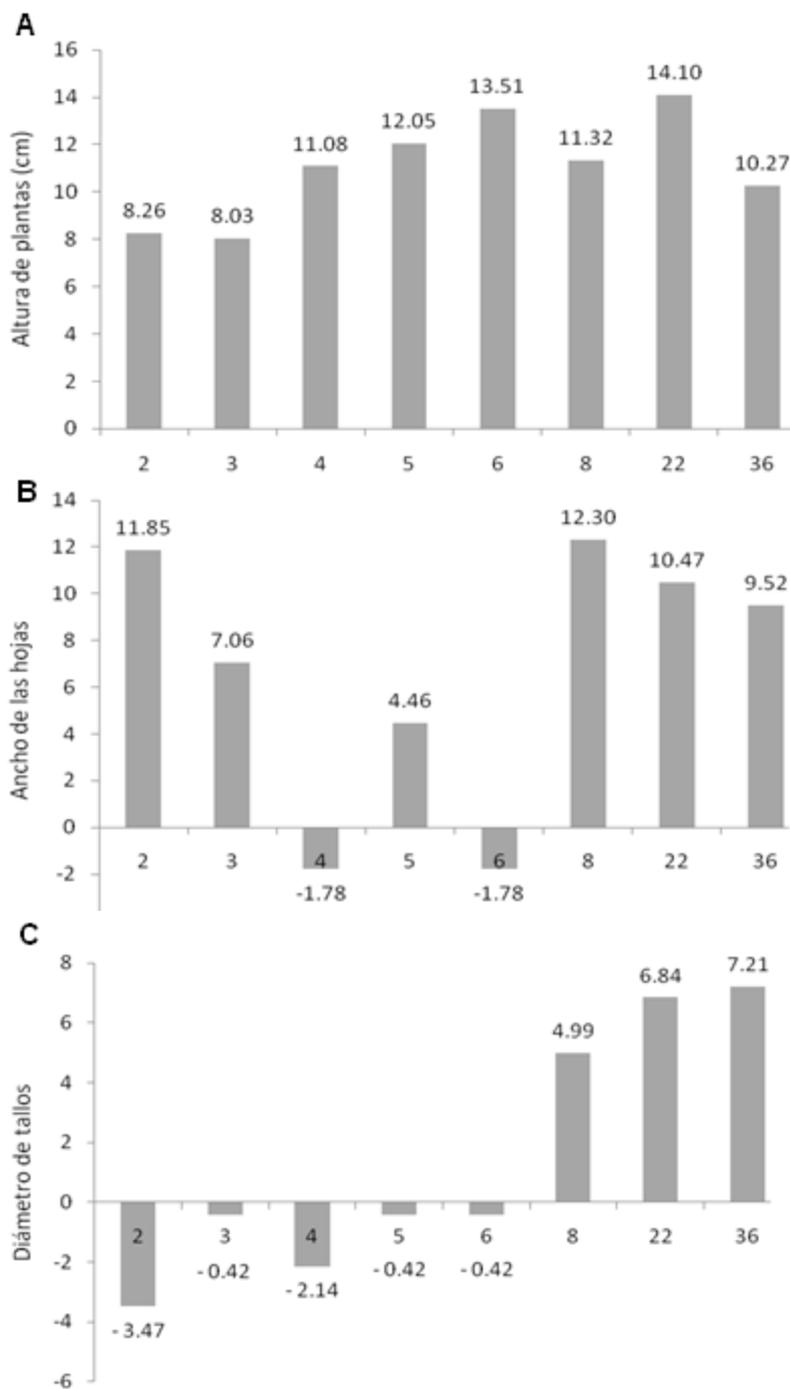


Figura 2. Porcentaje de incremento o disminución del efecto de los aislados respecto al tratamiento control. A/ altura de las plantas, B/ ancho de las hojas y C/ diámetro de las plantas

En nuestro estudio se observa como el largo de las raíces se ve favorecido por la colonización de las bacterias y al posible mecanismo de acción de la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal. Según lo reportado por Asghar *et al.* (2002), *Bacillus cereus* fue una de las bacterias más abundantes encontradas endofíticamente en las raíces de las plantas, la cual en condiciones experimentales fue la de mejores resultados en la producción de AIA por métodos

espectrofotométricos y a la vez la de mejores resultados en el largo de las raíces de plántulas de sorgo.

Resultados similares a los obtenidos en los parámetros de crecimiento se observaron en el análisis de la biomasa de las plantas de sorgo. La tabla 2 muestra los valores obtenidos por cada uno de los aislados y el tratamiento control respecto al peso fresco y seco del follaje y la raíz.

Tabla 2. Efecto de los aislados endófitos sobre los la biomasa radical y área de plantas de sorgo

Tratamiento	PFF (g)	PSF (g)	PFR (g)	PSR (g)
2 (aislado a los 7 días)	2.85 ^a	0.39 ^a	0.37 ^{ab}	0.25 ^a
3 (aislado a los 7 días)	2.88 ^a	0.37 ^a	0.44 ^{ab}	0.26 ^a
4 (aislado a los 7 días)	2.68 ^a	0.39 ^a	0.33 ^{ab}	0.22 ^a
5 (aislado a los 7 días)	2.97 ^a	0.41 ^a	0.52 ^a	0.29 ^a
6 (aislado a los 7 días)	2.58 ^a	0.42 ^a	0.38 ^{ab}	0.28 ^a
8 (aislado a los 7 días)	2.76 ^a	0.45 ^a	0.20 ^b	0.29 ^a
22 (aislado a los 60 días)	2.82 ^a	0.53 ^a	0.45 ^{ab}	0.28 ^a
36 (aislado de las semillas)	2.57 ^a	0.41 ^a	0.21 ^b	0.28 ^a
38 (control)	2.16 ^a	0.37 ^a	0.28 ^{ab}	0.25 ^a
<i>EE ±</i>	0.09	0.01	0.02	0.01

Abreviaturas: PFF/ peso fresco del follaje, PSF/ peso seco del follaje, PFR/ peso fresco de la raíz, PSR/ peso seco de la raíz. Letras desiguales en una misma columna difieren para $p < 0.05$ por Tuckey HSD.

Se destaca en este análisis que solamente en el peso fresco de raíz (PSR) se obtuvieron diferencias significativas entre los aislados y el tratamiento control, no existiendo diferencias en el peso fresco (PFF) y seco del follaje (PSF) y en el peso seco de la raíz (PSR).

La inoculación con el aislado 5 (aislado a los 7 días) fue el único tratamiento que tuvo diferencias estadísticas con los tratamientos 8 (aislados a los 7 días) y 36 (aislado de las semillas), los cuales fueron los valores más bajos estadísticamente. Sin embargo, al analizar la masa seca no existieron diferencias significativas.

Al igual que para los parámetros de crecimiento, en la biomasa de las plantas se analizó el incremento o disminución de los valores medios obtenidos por los aislados respecto al tratamiento control, los cuales se muestran en la figura 2 teniendo en cuenta el porcentaje de incremento o disminución en cuanto al peso seco del follaje y la raíz.

Al analizar el peso del follaje se aprecia como el aislado 22 (aislado a los 60 días) tuvo un incremento de 30.18% respecto al tratamiento control, seguido del aislado 8 (aislado a los 7 días) con 17.77. En el peso seco de la raíz se destacan los aislados 8 y 5 (aislados a los 7 días), los cuales tuvieron un incrementos de 13.79% respectivamente en comparación con el tratamiento control. Con excepción del tratamiento 4, el cual tuvo una gran disminución en el peso de la raíz en comparación con el control (-13.63), los demás tratamientos tuvieron un estable incremento en este parámetro.

Al comparar los resultados obtenidos por estos aislados con los observados en la brotación y los parámetros de crecimiento puede inferirse que la inoculación con los aislados 5, 8 y 22 pueden incrementar el crecimiento y desarrollo del cultivo del sorgo en condiciones controladas. Entre estos resultados se destacan los obtenidos con la inoculación del aislado 5 (aislado a los 7 días), mediante el cual se logra incrementar significativamente el largo de la raíz, así como obtener satisfactorios resultados en la biomasa de las plantas de sorgo.

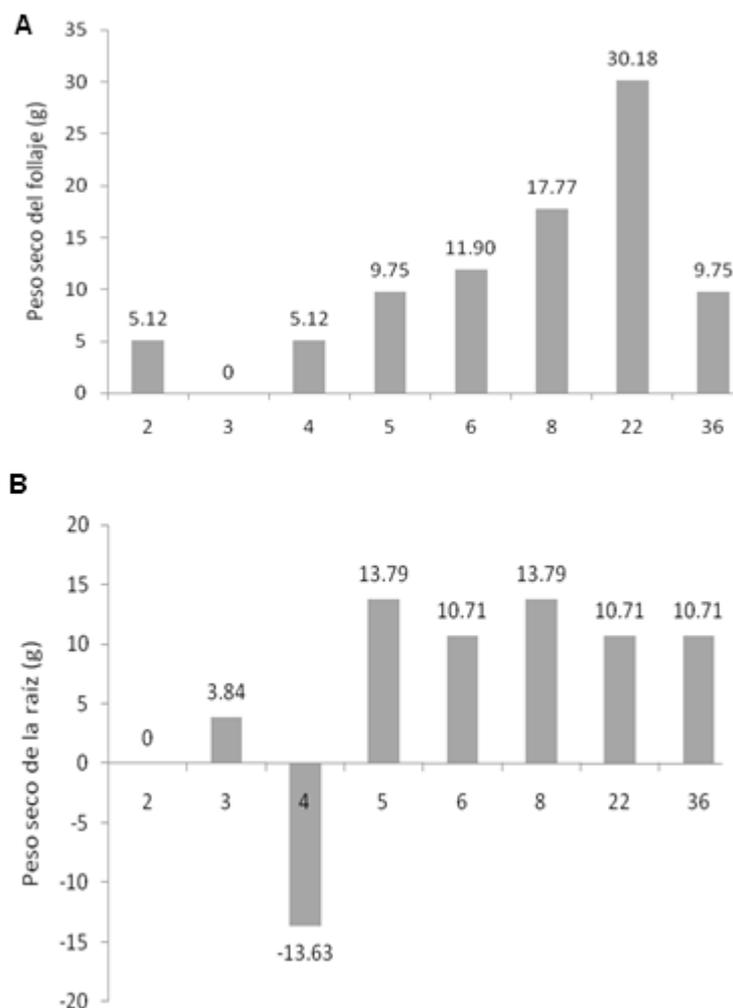


Figura 3. Porcentaje de incremento o disminución del efecto de los aislados respecto al tratamiento control. A/ peso seco del follaje, B/ peso seco de la raíz

Estos resultados ponen de manifiesto que es posible incrementar los parámetros de crecimiento y desarrollo en este cultivo mediante el uso de mediante la aplicación de bacterias endofíticas, sin embargo se precisa el estudio de los mecanismos de acción por los cuales se realiza la estimulación. En este sentido Idris *et al.* (2009) al reportan que el efecto beneficioso de diferentes aislados endofíticos sobre parámetros de crecimiento de cultivo del sorgo se lleva a cabo por diferentes mecanismos de acción de las bacterias, prestándosele una gran importancia a la producción de AIA, como un mecanismo directo de estimulación por los endófitos. Patten y Glick, (2002) reportan que varias especies de bacterias endofíticas de los géneros *Stenotrophomonas*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cerratia*, entre otros, pueden afectar positivamente las raíces y el follaje de diferentes cultivos en condiciones controladas, no obstante, sugieren la realización de ensayos en campo para validar el efecto de los aislados en condiciones naturales. Singh *et al.* (2007) reportan que el estudio en condiciones naturales

de la rizo-deposición de carbono sobre las bacterias endofíticas, así como la interacción de componentes químicos, físicos y biológicos, en especial el efecto sobre la microflora rizosférica son estudios que deben encaminarse en aras de lograr una adecuada diversidad microbiana en los suelos.

Correlaciones de los parámetros de crecimiento y biomasa

La correlación de los parámetros evaluados previamente demuestra la correspondencia existente entre el crecimiento y la biomasa del cultivo. La tabla 3 resume las diferencias significativas que existen entre los parámetros, destacándose que con excepción del diámetro del tallo, todos los demás parámetros correlacionan para $0.01 > p < 0.05$. Este resultado demuestra que a medida que a medida que aumentan los parámetros de crecimiento, en especial el largo de la raíz, se incrementa la biomasa en este cultivo.

Tabla 6. Correlación de Pearson

	PFF	PSF	PFR	PSR	Diam. Tallo	Ancho hojas	Largo de raíz	Altura planta
PFF	1							
PSF	.756(**)	1						
PFR	.688(**)	.254	1					
PSR	.511(**)	.589(**)	.265	1				
Diam. Tallo	.267	.488(**)	-.049	.245	1			
Ancho hojas	.762(**)	.791(**)	.333(*)	.531(**)	.602(**)	1		
Largo raíz	.617(**)	.459(**)	.508(**)	.344(*)	-.007	.333(*)	1	
Altura planta	.775(**)	.727(**)	.350(*)	.430(**)	.327(*)	.636(**)	.515(**)	1

** Correlación significativa ($p > 0.01$), * Correlación significativa ($p < 0.05$) por el coeficiente de Pearson. Abreviaturas: PFF/ peso fresco del follaje, PSF/ peso seco del follaje, PFR/ peso fresco de la raíz, PSR/ peso seco de la raíz.

Asghar *et al.* (2002) reportan la existencia de una positiva correlación entre la colonización de las raíces de plantas de sorgo por bacterias endófitas, la adecuada arquitectura de estos órganos (largo y diámetro de las raíces), la producción de masa seca y la producción de AIA por las bacterias endófitas, lo que se corrobora en el presente estudio con aislados endofíticos cubanos.

CONCLUSIONES

1. Los 8 aislados seleccionados fueron los de mejores valores respecto a los parámetros de crecimiento y biomasa de las plantas de sorgo, sin embargo, los aislados 5, 8 (aislados a los 7 días), 22 (aislado a los 60 días) y 36 tuvieron los mejores resultados estadísticos y promedios en comparación con el resto de los aislados.

2. El análisis de las correlaciones de los parámetros de crecimiento y biomasa de las plantas demuestran que los aislados 5, 8 (aislado a los 7 días), 22 (aislado a los 60 días) y 36 (aislado de la semilla) pueden estimular el crecimiento de las plantas de sorgo en sus primeros estadios.

RECOMENDACIONES

1. Identificar genéticamente los 8 aislados de mejores resultados en los parámetros de crecimiento y producción de biomasa en el cultivo del sorgo var. UDG-110.

2. Realizar ensayos de campo con los aislados 5, 8 (aislados a los 7 días), 22 (aislado a los 60 días) y 36 (aislado de la semilla) para determinar su potencial de estimulación en condiciones naturales.

3. Determinar los mecanismos de acción tales como producción de ácido indol-3-acético, solubilización de fosfatos, fijación de nitrógeno, entre otros, por los cuales estos aislados logran estimular el crecimiento y biomasa del cultivo del sorgo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asghar HN, Zahir Z.A, Arshad M and Khalig A (2002). Plant growth regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. *Adv agron* 62: 146-151.

2. Dobbelaere S (2002). The phytoostimulatory effect of *Azospirillum brasilense*. PhD thesis, KULeuven.

3. FAO. (2008). El sorgo y el mijo en la nutrición humana. (Colección FAO: Alimentación y Nutrición No. 27) ISBN 92-5-303381-9. [Consultado 25/06/2010]. Disponible en la World Wide Web: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/TO818S/TO818SO2.htm

4. Idris, A., Labuschagne, N. and Korsten, L. (2009) Efficacy of rhizobacteria for growth promotion in sorghum under greenhouse conditions and selected modes of action studies. *Journal of Agricultural Science*, 147, 17-30.

5. Khalid, A., Arshad, M. and Zahir, Z. A. (2004). Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *J Appl Microb* 96, 473–480.
6. Mayea, S, Carone, M., Novo, R., Boado, I., Silveira, E., Soria, M., Morales, Y. y Valiño, A. (1998). *Microbiología Agropecuaria*. Tomo II. Ed. Félix Varela. La Habana. Pp 156-178.
7. Patten, C.L. and Glick, B.R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Appl Environ Microb* 68: 3795-3801.
8. Saucedo, O. (2005). Cultivos: sorgo granifero. UDG-110 variedad de sorgo de grano blanco con adaptación tropical. Centro Agrícola, año 2005, no. 2, mayo-agosto, 90.
9. Singh, B. K., Munro, S., Potts, J.M. and Millard, P. (2007). Influence of grass species and soil type on rhizosphere microbial community structure in grassland soils. *Applied Soil Ecology* 36, 147–155.
10. Suzuki, S., He, Y. And Oyaizy, H. (2004). Indole-3-acetic acid production in *Pseudomonas fluorescens* HP72 and its association with suppression of creeping bentgrass brown patch. *Current Microbiology* 47, 138–143.

Recibido: 19/03/2010

Aceptado: 25/06/2010