

Alternativas de sostenibilidad ambiental

para comunidades en el departamento de Córdoba

Jorge Villadiego Lorduy
Compilador



Universidad
Pontificia
Bolivariana

338.162
A466

Villadiego Lorduy, Jorge, compilador
Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba /
Jorge Villadiego Lorduy – 1 edición – Medellín: UPB, 2020.
145 páginas, 16.5x23.5 cm.
ISBN: 978-958-764-908-6 (Versión digital)

1. Sostenibilidad ambiental -- Córdoba (Colombia) – 2. Agroecología -- Córdoba
(Colombia) – I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Autores varios
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Alternativas de sostenibilidad ambiental para comunidades en el departamento de Córdoba

ISBN: 978-958-764-908-6 (versión digital)
DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-908-6>
Primera edición, 2020
Escuela de Ingenierías y Arquitectura
Grupo de Investigación en Calidad de aguas, modelamiento hídrico y ambiental, CAMHA.
Environment & Technology Foundation. Grupo de Investigación: Gestión ambiental. Proyecto: Acciones para la gestión y la sostenibilidad ambiental territorial: Casos del departamento de Córdoba y la región Caribe.

Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Rector Seccional Montería: Pbro. Jorge Alonso Bedoya Vásquez

Vicerrector Académico Sede Medellín: Álvaro Gómez Fernández

Vicerrector Académico Seccional Montería: Roger Góez Gutiérrez

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Gestora Editorial Seccional Montería: Flora del Pilar Fernández Ortega

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Diseño y diagramación: Ana Mercedes Ruiz Mejía

Imagen portada: Pixabay


Corrección de Estilo: Delio David Arango

Dirección Editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020
Correo electrónico: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 2011-03-08-20

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.



Capítulo 7.

Biofertilización con *Azotobacter Sp*: una alternativa de mejoramiento de suelo y productividad en cultivo de ají jalapeño (*Capsicum Annuum L*)

Óscar Jiménez Calderín³⁶

Juan Salvador Peña³⁷

Javier Sánchez Castillo³⁸

Daniel Espinosa Corrales³⁹

Natalia García Corrales⁴⁰

Jorge Villadiego Lorduy⁴¹

36 Bacteriólogo, Universidad de Córdoba. Magíster en Biotecnología, Universidad de Córdoba, Montería. Correo: biotecnoscarjc23@hotmail.com

37 Ingeniero forestal, estudios de maestría en Ciencias Agronómicas, Universidad de Córdoba, Montería. Director de Sinú Verde. Correo: jsalvador@sinuverde.com

38 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. M. Sc. Ciencias de la Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Correo: javier.sanchezc@upb.edu.co

39 Director del programa de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. Correo: daniel.espinosac@upb.edu.co

40 Ingeniero Industrial, asesor científico en Environment & Technology Foundation. Correo: etf@environmenttechnologyfoundation.org

41 Docente investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Montería. Ph. D. Ciencias Naturales para el Desarrollo. Correo: jorge.villadiego@upb.edu.co

Resumen

Este estudio tuvo como finalidad demostrar los beneficios en el desarrollo de las plantas de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L) expuestas a la acción biofertilizante de una cepa nativa del género *Azotobacter* sp. Se registraron periódicamente los indicadores de desarrollo vegetal y a los resultados se les aplicó tratamiento estadístico ANOVA a tres factores y DMS con el fin de determinar las diferencias y similitudes entre tratamientos. Se obtuvieron resultados favorables para *Azotobacter* sp. en los tratamientos pues se obtuvieron valores estadísticamente superiores a los obtenidos con el tratamiento control, e incluso superó en algunos parámetros a los obtenidos con el tratamiento de urea. Lo cual confirma la acción benéfica de la inoculación con la cepa nativa de *Azotobacter* sp.

Palabras clave: biofertilizante; fijación de nitrógeno; mejoramiento de suelos; índices de desarrollo vegetal; productividad.

Abstract

The purpose of the study was to demonstrate the development benefits of Jalapeño pepper (*Capsicum Annuum* L) plants exposed to the biofertilizing action of a native strain of the genus *Azotobacter* sp. Plant development indicators were periodically recorded and the results were applied with statistical treatment ANOVA to three factors and DMS in order to determine the differences and similarities between treatments. Favorable results were obtained for *Azotobacter* sp. in the treatments obtaining values were statistically higher than those obtained with the control treatment and even exceeded in some parameters those obtained with the Urea treatment. This confirms the beneficial action of inoculation with the native strain of *Azotobacter* sp

Key words: biofertilizer; nitrogen fixation; soil improvement; plant development indices; productivity.

7.1 Introducción

Los altos rendimientos y una alta calidad (sin perder características organolépticas) son demandas a cumplir con los mercados internacionales, un paso importante para lograrlo consiste en brindar a nuestros cultivos la nutrición que cubra las necesidades durante su desarrollo, aplicando productos reguladores del crecimiento en las diferentes etapas fenológicas

del cultivo. El acceso al mercado de las hortalizas está condicionado por la obtención de productos limpios o ecológicos, que garanticen un impacto ecológico mínimo y que cumplan con las normas de calidad para exportación, debido a esto se hace necesario, evaluar la viabilidad del uso de microorganismos viables con capacidad para fijar metabólicamente determinadas sustancias.

Dentro de las propiedades que resultan de interés en tales microorganismos, cobra importancia la capacidad fijadora de macronutrientes tales como el nitrógeno (N), producción de auxinas y fitohormonas estimuladoras del crecimiento vegetal. El ají (*Capsicum* sp.) posee un alto valor nutritivo que cobra importancia en la región caribe colombiana, debido a un alto nivel de competitividad y la demanda internacional en el mercado estadounidense, árabe y asiático.

Habida cuenta de lo anterior, se desarrolló el estudio a fin de evaluar la respuesta de los parámetros biométricos de las plantas de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L.) frente a la inoculación de una cepa nativa de *Azotobacter* sp. con propiedades fijadoras de nitrógeno, con el fin de evaluar su potencial como agente biofertilizante.

7.2 Marco teórico

Los macronutrientes esenciales para la constitución y adecuada nutrición vegetal son el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno los cuales constituyen más de un 90 % de la materia vegetal a la que se le añaden algunos elementos que se utilizan como abono: (potasio, calcio, magnesio, fósforo). El nitrógeno, aunque representa un 78 % del aire atmosférico, no está disponible en forma directa para las plantas, las cuales deben asociarse en algún nivel con bacterias y algas que lo hacen asimilable bajo la forma de ion nitrato (NO_3^-). De ahí se deriva la importancia de la utilización de nitrógeno en la nutrición vegetal y su adición como abono por los parte de los productores (Meléndez y Molina, 2001).

El nitrógeno se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera terrestre, pero para lograr su biodisponibilidad para los vegetales se debe romper el enlace N-N del nitrógeno molecular, lo cual requiere cuando menos

940kJ y muy pocos organismos lo utilizan para lograr la fijación biológica de nitrógeno. De acuerdo con lo expresado por Alfonso *et al*, (2007) la fijación biológica de nitrógeno mejora las condiciones de los suelos mediante diversas acciones:

- Mejora la estructura del suelo.
- Reduce la erosión del suelo.
- Tiene efecto regulador en la temperatura del suelo.
- Contribuye al almacenamiento de humedad.
- Es un alimento necesario para los organismos benéficos del suelo.

7.3 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos a base de microorganismos viables que suministran o facilitan la asimilación de nutrientes y desempeñan alguna acción que beneficia el desarrollo de los vegetales. Los nutrientes esenciales disponibles en los fertilizantes de origen biológico presentan características fisicoquímicas y biológicas muy cercanas a las que naturalmente debería poseer el suelo, lo cual implica una notable disminución del impacto agroecológico sin sacrificar los incrementos en la productividad (Carvajal y Mera, 2010). Los biofertilizantes han logrado un progresivo posicionamiento en el mercado, han sustituido gradualmente los fertilizantes sintéticos, ya que brindan rendimientos similares o superiores en la mayoría de las cosechas, favorecen la productividad, mejoran la resistencia a fitopatógenos y ofrecen facilidades para su aplicación.

Este fenómeno representa beneficios económicos para los agricultores debido a la reducción en la inversión asociada al proceso de fertilización y ganancia en los rendimientos (Rivera *et al*, 2012). Además de mejorar la perspectiva económica, tiene un impacto positivo en lo socioambiental. Sin embargo, el uso de estas técnicas demanda previos estudios de factibilidad, seguimiento de las variables ambientales, disponibilidad de insumos biológicos y personal capacitado.

7.4 Género *Azotobacter* sp

Su capacidad para fijar nitrógeno y su rápida reproducción representa ventajas al momento de regular el crecimiento vegetal, medir la producción de fitohormonas y funcionar mejor aprovechando la materia orgánica presente en el suelo, la han convertido en el género de bacterias aerobias con mayor número de aplicaciones a procesos de agroindustria. La fijación de N_2 por esta especie está delimitada por la estructura de las sustancias orgánicas disponibles en el entorno y de la energía química de la misma, siendo relevantes los procesos de oxidación de la materia orgánica durante la respiración. Mantilla *et al* (2010) demostró un incremento de su metabolismo (incluyendo la capacidad fijadora de N_2) en suelos ricos en fenoles, lo que sugiere que estas bacterias contribuyen en la transformación de este tipo de residuos usados como fertilizantes.

7.5 Metodología

Se llevó a cabo un estudio experimental para obtener datos medios a fin de comparar la respuesta de los parámetros biométricos de plantas de ají jalapeño frente a tratamientos de *Azotobacter* sp. en concentraciones de 1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8 UFC, tratamiento comercial (urea) y un tratamiento control.

El enfoque del presente ensayo se basó en un diseño aleatorio al azar, con cinco tratamientos, tres repeticiones, cada una compuesta por veinticuatro unidades experimentales. Para un total de 360 pocetas con tres semillas por poceta (para un total de 1.080 semillas comerciales de ají jalapeño (*Capsicum Annuum* L) durante todo el ensayo), previamente embebidas en solución microbiana. Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) de tres factores y para determinar la diferencia entre medias de los tratamientos se utilizó la prueba DMS al 95 % (paquete estadístico de Microsoft Excel 2010). Se realizó un análisis de varianza de tres factores para realizar las comparaciones de medias entre los tratamientos. Así, fue determinada la existencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, medias de parámetros dentro de un mismo tratamiento y diferencia de medias de un mismo tratamiento a través del tiempo, adicionalmente, se realizó una

comparación de medias mediante la prueba DMS con 5 % de probabilidad para determinar el tratamiento que produjo mejores rendimientos.

7.5.1 Procedimientos

En el laboratorio de biotecnología de la Universidad de Córdoba (sede central, Montería) fue aislado, purificado y multiplicado el microorganismo en medio de cultivo *Burk* (selectivo), la biomasa obtenida luego de 48 horas de incubación se llevó a diluciones seriadas las cuales se sometieron a agitación (150 rpm) durante 48 horas. Fueron extraídos 5 ml de cada tubo de ensayo y diluidos en solución salina al 0,85 p/v. hasta llegar a 100 ml con la finalidad de obtener las concentraciones deseadas (tabla 10).

Tabla 10. Distribución de diluciones seriadas

FRASCO	DILUCIONES						
AZ1	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	N.A	N.A
AZ2	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	1X10 ⁷	N.A
AZ3	1X10 ²	1X10 ³	1X10 ⁴	1X10 ⁵	1X10 ⁶	1X10 ⁷	1X10 ⁸

Fuente: elaboración propia.

Se utilizaron las dos últimas diluciones de cada serie (AZ3 hasta 10⁸) y de cada una de ellas se tomaron 100 µL de la suspensión para realizar una siembra por triplicado en medio *Burk* sólido, para las suspensiones de las semillas de ají jalapeño (*Capsicum Annum* L) se utilizaron 5 ml de cada dilución.

7.6 Resultados y discusión

7.6.1 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en las instalaciones del laboratorio de biotecnología de la Universidad de Córdoba sede central, en Montería

(Córdoba), a 8° 44' de latitud N y 75° 53' de longitud O, con respecto al meridiano de Greenwich (figura 45).

Figura 45. Localización laboratorio de biotecnología UNICOR



Fuente: Google Earth, 2019.

Se utilizaron semillas comerciales de *Capsicum Annum L.* variedad jalapeño, avaladas por la resolución ICA n.º 000647 del 24 de abril de 2001, con especificaciones de pureza de 99 % y germinación aproximada de 85 %. Se distribuyeron de manera uniforme en frascos con 5 ml de la solución microbiana (1×10^6 , 1×10^7 y 1×10^8) y fueron sometidas a agitación durante 120 minutos. Para establecer las condiciones semicontroladas de vivero, las semillas fueron dispuestas en semilleros con suelo de características que se especifican en la tabla 11.

Tabla 11. Composición fisicoquímica del suelo

Parámetro	Rango	Reacción química del suelo
pH	7.37	Neutro
Relación C/N	11.38	Medio- bajo
Conductividad	1/5 H ₂ O mS/cm=0,36	No salino
Arena	38 %	
Limo	40 %	
Arcilla	22 %	Franco
Carbonatos totales	(Ca CO ₃) 22,25	
Materia orgánica	2,65	

Parámetro	Rango	Reacción química del suelo
Nitrógeno total	0,14	
Fósforo asimilable	0,12	
Potasio de cambio	0,92	
Magnesio de cambio	2,48	
Calcio de cambio	21,58	
Sodio de cambio	0,32	

Fuente: elaboración propia.

Basados en los valores relacionados en la tabla 11 y las recomendaciones de la FAO (2002) para suelos con menos de 15 ppm de N_2 , se utilizaron 9,08 gr de urea por maceta, aplicando urea granulada a 10 cm de la base de la planta, y distribuidos de manera circular alrededor de la misma a una profundidad de 5 cm. El experimento tuvo una duración de doce semanas, se tomaron mediciones a partir de la séptima hasta la décima semana. En el tratamiento E (urea), el fertilizante fue aplicado en la quinta semana después de la emergencia de la semilla, y después del trasplante para evitar al máximo el estrés en el cultivo.

7.6.2 Determinación de los parámetros biométricos

- Área foliar

Para determinar el área foliar las hojas fueron escaneadas y las imágenes obtenidas fueron convertidas a densidad monocromática para una determinación más acertada a los requerimientos del *software*. Se implementó el *software* determinador digital de áreas (DDA) y la diferencia fue eliminada multiplicando por el error 0,2289, correspondiente a la referencia del Scanner. Resulta evidente una mayor eficacia en el tratamiento B en relación con todos los demás tratamientos (tabla 12).

Tabla 12. Valores medios de área foliar

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (Control)	A1	85,2	99,6	106,5	97,8
	A2	218,6	232,1	232	244
	A3	235,8	245,1	252,5	243,8
B (1x10 ⁶)	B1	362,7	435,3	496,1	525,2
	B2	277,3	303,4	281,5	286,3
	B3	245,4	258,4	260,1	268,3
C (1x10 ⁷)	C1	125,1	133,5	142,7	129,9
	C2	230,2	255,5	262,1	266,6
	C3	231,9	232,6	245,3	249,9
D (1x10 ⁸)	D1	170,2	189,5	201,2	203,3
	D2	175,2	198,4	225	222
	D3	114,8	116,7	121,4	118,9
E (Urea)	E1	201,8	200,2	215,3	225,4
	E2	180,2	213,5	224,7	225,4
	E3	165	177,3	204,2	197,6

Fuente: elaboración propia.

Comparando las medidas obtenidas en el tratamiento control y tratamiento comercial con el tratamiento B, este último muestra resultados que superan los obtenidos en el control por casi el doble, de igual forma presentó rendimientos superiores con respecto al testigo comercial (urea). Según Borda-Molina *et al.* (2011) el área foliar se relaciona directamente con el estado fenológico de la planta y las variaciones en la intensidad de la luz que influyen directamente en el proceso fotosintético

Pese a lo indicado, durante el presente trabajo el análisis de varianza arrojó una probabilidad cercana al 0 % de homogeneidad entre los tratamientos ($P = 0,05$), lo cual indica que las diferentes concentraciones del microorganismo tuvieron una influencia en el desarrollo de este parámetro (tabla 13).

Tabla 13. Resultados análisis de varianza para área foliar

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	1,429173333	4	0,357293333	7,74563717	0,000101453	2,605974949
Columnas	0,242631667	3	0,080877222	1,75330901	0,171635888	2,838745398
Interacción	0,055026667	12	0,004585556	0,09940865	0,999935056	2,003459396
Dentro del grupo	1,845133333	40	0,046128333			
Total	3,571965	59				

*PC: promedio de cuadrados; VC: valor crítico; (°): grados.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que el valor crítico de F excede al P -valor, se rechaza la hipótesis nula que establece la igualdad entre los tratamientos, demostrando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos para los tratamientos y el área foliar.

- Altura del tallo

Las medidas de la raíz y el tallo fueron tomadas con la ayuda de una regla, para las raíces se tomó la raíz más larga y se midió en centímetros desde la base del tallo al ápice radical. Para el caso del tallo se midió desde la corona de la raíz hasta el ápice de la última hoja del tallo principal de la planta (Hernández 2002; Ramírez y Pérez, 2006). Durante su medición se presentó similitud en los resultados obtenidos para los tratamientos B, C y E, con una ligera superioridad del tratamiento B. Mientras que el tratamiento E (testigo comercial urea) mostró un comportamiento parecido al tratamiento C (1×10^7) (tabla 14).

Tabla 14. Resultados altura del tallo

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7 (cm)	Semana 8 (cm)	Semana 9 (cm)	Semana 10 (cm)
A (Control)	A1	10,8	11,2	11,5	11,8
	A2	12,6	13	13,1	13,4
	A3	13,1	13,3	13,5	13,7
B (1x10 ⁶)	B1	16,7	17	17,1	17,3
	B2	18,1	18,5	18,7	19,1
	B3	18,5	19,1	19,4	19,5
C (1x10 ⁷)	C1	17,3	17,6	17,9	18,2
	C2	12,6	13,1	13,4	13,9
	C3	16,6	16,9	17,3	17,5
D (1x10 ⁸)	D1	10,9	11,3	11,5	11,8
	D2	8,8	9,1	9,2	9,5
	D3	12,4	12,8	13	13,1
E (Urea)	E1	14,2	14,8	15,3	15,6
	E2	14,7	15,2	15,5	15,9
	E3	15,6	16,1	16,4	16,6

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza demostró similitud entre las alturas reportadas para cada repetición por tratamiento, esto demuestra una correcta aplicación de la metodología y uniformidad de las muestras resultantes, lo cual se encuentra íntimamente ligado a la obtención de resultados confiables. Las plántulas presentaron un crecimiento homogéneo y lineal a lo largo del tiempo entre semanas, así como también se homogeneidad entre las repeticiones de cada tratamiento. De acuerdo con el análisis de varianza existen diferencias estadísticas entre los tratamientos respecto a la altura del tallo, donde el tratamiento B (1x10⁶) presentó los mayores valores, con resultados de longitud de tallo que en algunas repeticiones superaban por más de 8 cm a los reportados por el tratamiento control (tabla 15).

Tabla 15. Análisis de varianza para altura de tallo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	387,662333	4	96,9155833	39,8802208	1,8691E-13	2,60597495
Columnas	7,08133333	3	2,36044444	0,9713097	0,41577725	2,8387454
Interacción	0,267	12	0,02225	0,00915575	1	2,0034594
Dentro del grupo	97,2066667	40	2,43016667			
Total	492,217333	59				

*PC: promedio de cuadrados; VC: valor crítico; (°): grados.

Fuente: elaboración propia.

Lara *et al.* (2006) evaluaron la actividad del AIA de aislados microbianos nativos de la zona del Sinú, entre los que se evaluó *Azotobacter* como productor de esta sustancia fitoregulatora y estimulante del crecimiento en las plantas, por tanto la evolución de este parámetro estuvo relacionada directamente con la aplicación de los distintos tratamientos basados en *Azotobacter*.

- Diámetro del tallo

Para la medición de este parámetro se hizo necesario utilizar un nonio y los resultados de las mediciones fueron expresados en mm² (Castillo *et al.* 2009). Se evidencia una ganancia de diámetro del tallo en el tratamiento B (1x10⁶), respecto al tratamiento control y a su vez a los tratamientos C (1x10⁷) y D (1x10⁸), los cuales mostraron cierta similitud con los resultados del control. Los tratamientos B y E presentaron un comportamiento similar (tabla 16), indican la preferencia del microorganismo a esa concentración y a los principios activos del testigo comercial, esto influyó en la fijación biológica del nitrógeno, sin embargo, no se demostró propiedades solubilizadoras de fósforo, el cual es responsable, junto al calcio, del desarrollo de este parámetro.

Tabla 16. Diámetro del tallo

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (control)	A1	0,183	0,188	0,192	0,196
	A2	0,227	0,231	0,232	0,246
	A3	0,211	0,214	0,217	0,221
B (1x10 ⁶)	B1	0,391	0,398	0,401	0,412
	B2	0,374	0,377	0,384	0,396
	B3	0,361	0,365	0,368	0,374
C (1x10 ⁷)	C1	0,271	0,272	0,275	0,282
	C2	0,283	0,287	0,288	0,294
	C3	0,225	0,228	0,231	0,232
D (1x10 ⁸)	D1	0,201	0,205	0,207	0,212
	D2	0,242	0,246	0,251	0,254
	D3	0,226	0,238	0,242	0,245
E (urea)	E1	0,301	0,307	0,311	0,322
	E2	0,332	0,341	0,349	0,355
	E3	0,299	0,308	0,313	0,316

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza demostró un comportamiento totalmente diferente en relación con los tratamientos y este parámetro con una probabilidad de (1.869×10^{-13}) que los resultados sean iguales entre tratamientos

- Longitud de la raíz

Este parámetro se relaciona de manera directa a la capacidad de absorción y asimilación de nutrientes y su tamaño, es un factor determinante para evaluar la actividad de la microbiota rizosférica. Durante los ensayos se observó una clara superioridad en el desarrollo radicular del tratamiento B, la segunda repetición perteneciente a este tratamiento, muestra longitudes de 21,2 cm, superando significativamente al tratamiento control y presentando resultados estadísticamente similares a los

obtenidos en el testigo comercial. El tratamiento control mostro un comportamiento similar al tratamiento D (1×10^8) pero claramente inferior al obtenido con el tratamiento C (1×10^7) (tabla 17).

Tabla 17. Longitud de la raíz

Tratamientos	Repeticiones	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
A (control)	A1	12,2	12,7	13,2	13,5
	A2	11,8	12,1	12,5	12,7
	A3	12,1	12,3	12,7	12,9
B (1×10^6)	B1	17,2	17,8	18,1	18,3
	B2	20,1	20,7	20,9	21,2
	B3	16,8	17,1	17,4	17,6
C (1×10^7)	C1	15,3	15,7	16,1	16,4
	C2	16,2	16,7	17,2	17,3
	C3	15	15,1	15,5	15,7
D (1×10^8)	D1	13,1	13,7	14	14,1
	D2	12,5	13,2	13,5	13,6
	D3	12,2	12,6	13	13,3
E (urea)	E1	16,6	17,1	17,5	17,9
	E2	17,1	17,6	18,1	18,4
	E3	18,6	18,8	19,2	19,4

Fuente: elaboración propia.

El análisis de varianza demostró diferencias significativas entre tratamientos, la probabilidad de la hipótesis nula es de ($4,2073 \times 10^{-21}$), por lo cual no se rechaza la hipótesis que plantea la diferencia entre los tratamientos. En el tratamiento B la diferencia estadística fue marcada en relación con los demás tratamientos (tabla 18).

Tabla 18. Análisis de varianza longitud radicular

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	(°) de libertad	PC	F	Probabilidad	VC para F
Muestra	0,2340805	4	0,05852013	111,096583	4,2073E-21	2,60597495
Columnas	0,00187327	3	0,00062442	1,18542425	0,32746119	2,8387454
Interacción	0,00015123	12	1,2603E-05	0,02392554	0,99999998	2,0034594
Dentro del grupo	0,02107	40	0,00052675			
Total	0,257175	59				

Fuente: elaboración propia.

La longitud radicular se relaciona directamente con la capacidad de la planta para asimilar y metabolizar los nutrientes disponibles en el medio, factor que resulta favorable para su desarrollo. El tratamiento B mantuvo una superioridad en el desarrollo radicular en todos los puntos de medición de este parámetro, Colon *et al.* (2000) expresa que la producción de fitohormonas (auxinas y giberelinas) por parte de *Azotobacter chroococcum*, influye positivamente en el desarrollo radicular, así como también en el peso seco de las plantas tratadas, estos datos siguen la secuencia obtenida durante el presente ensayo donde el tratamiento B expresó los mejores resultados.

- Peso seco

La determinación del peso seco de la planta se realizó seccionando sus partes (hojas, tallos, raíz y fruto) y sometiéndolas a una temperatura de 60 °C (calor seco) durante 48 horas. El material resultante fue pesado en una balanza electrónica y el resultado fue reportado en gramos de materia seca (Hernández 2002; Ramírez y Pérez, 2006).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas de peso seco en el tiempo, se muestra un aumento lineal y progresivo para todos los tratamientos (tabla 19). Los resultados obtenidos se encuentran condicionados por factores climáticos, ambientales y dentro de estos, el de mayor relevancia, es el estado del suelo y la disponibilidad de nutrientes, cobra así importancia la disponibilidad de formas asimilables

de nitrógeno debido a su relación directamente proporcional con los rendimientos por planta.

Tabla 19. Peso seco

Tratamientos	Repeticiones	S 7	S 8	S 9	S 10
A (control)	A1	1,77	2,02	2,31	2,28
	A2	2,52	2,85	3,06	3,32
	A3	2,44	2,77	3,02	3,16
B (1x10 ⁶)	B1	4,77	5,03	5,86	6,14
	B2	5,12	5,41	6,06	6,27
	B3	4,51	4,98	5,33	5,65
C (1x10 ⁷)	C1	3,06	3,42	3,45	3,58
	C2	2,55	2,74	3,01	3,17
	C3	2,32	2,54	2,93	2,91
D (1x10 ⁸)	D1	2,01	2,07	2,45	2,62
	D2	2,02	2,34	2,63	2,86
	D3	1,92	2,23	2,16	2,41
E (urea)	E1	2,74	3,14	3,56	3,92
	E2	3,62	4,07	4,52	4,51
	E3	4,41	5,04	5,62	5,89

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos se asemejan a los de González *et al.* (1994) quienes inocularon ocho cepas de *Azotobacter* y midieron los parámetros de crecimiento en vitroplantas de piña, demostraron que todas las cepas usadas indujeron el crecimiento, con valores que superaban los del testigo, datos similares a los obtenidos a lo largo del estudio donde podemos establecer la inoculación de *Azotobacter* con la finalidad acortar el periodo de adaptación de las plantas. Martínez *et al.* (1997) plantean que:

El efecto de la inoculación con *Azotobacter chroococcum* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en suelos ferralíticos rojos resulta coincidente para todas

las variedades analizadas. La población de plántulas por m² aumentó entre 36 % y 78 %, así como la altura se incrementó entre 34 % y 96% y el diámetro del tallo entre 37 % y 100%. El número de hojas aumentó entre 22 % y 42 % y el peso seco de 50 plántulas entre 38 % y 27,6 %.

De acuerdo con lo anterior cabe la posibilidad de reducir el tiempo desde la siembra en semillero hasta el trasplante, además del notable efecto y estimulación relacionada con la inoculación de *Azotobacter*, como se pudo evidenciar también durante este ensayo. Se hace necesario tener en cuenta los resultados obtenidos en la aplicación de *Azotobacter* sp en la concentración de 1x10⁶ ml como promotor de crecimiento en especies vegetales, lo cual sirve de punto de referencia comparativo con otros estudios en diversas especies vegetales con la finalidad de establecer nuevas alternativas que ayuden a mejorar los sistemas productivos y la renovación del entorno.

Conclusiones

Del presente estudio se concluye que la cepa nativa de *Azotobacter* sp. aplicada al cultivo de ají (*Capsicum Annuum L.*), variedad jalapeño, promueve positivamente el desarrollo de todos los parámetros biométricos evaluados en plantas de ají jalapeño.

La aplicación de una concentración preestablecida de microorganismos del género *Azotobacter* resulta beneficiosa en cuanto al desarrollo de área foliar, brinda ventajas competitivas en cuanto al aprovechamiento de factores como la luz solar y un mejor metabolismo fotosintético, aparte de contribuir a la fijación biológica del nitrógeno, tiene la propiedad de mejorar la altura de las plantas.

en lo que respecta al vivero es posible obtener rendimientos similares e incluso superiores a los obtenidos mediante el uso de fertilizantes nitrogenados aplicados a los cultivos de ají jalapeño, mediante la inoculación de la semilla con concentraciones adecuadas de la cepa nativa del género *Azotobacter* sp.

Referencias

- Alfonso, E., Leyva, Á. y Hernández, A. (2005). *Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum, Mill)*. *Revista Colombiana de Biotecnología* 2(2), 47-54.
- Carvajal, J. y Mera, A. (2010). *Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible*. Universidad del Magdalena.
- Castillo, C., Ortiz, C., Borie, F. y Rubio, R. (2009). Respuesta de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. “cacho de cabra” a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares. *Inf. tecnol.*, 20(4), 3-14
- Colón, J., Lucas, J., Ramos, B., Gutiérrez, F. y Probanza, A. (2000). *Increase in free nitrogen fixation in the rhizosphere of Pinus pinea seedlings inoculated with PGPRs in a burned forest soil*. Junta de Andalucía y Consejo de Agricultura y Pesca.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. FAO.
- Hernández, J., Aramendiz, H. y Cardona, C. (2005). Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenoacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl). *Temas Agrarios* 10(1), 5-13.
- Lara, C. y García, L. (2010). *Elaboración de un bioinoculante a partir de residuos vegetales del mercado y una bacteria nativa con potencial biofertilizante*. Tesis de grado. Maestría en Biotecnología. Departamento de Química. Universidad de Córdoba.
- Lara, C., Oviedo- Zumaque, L. y Alemán, A. (2006). *Evaluación química de la auxina: ácido indol-acético a partir de aislados microbianos nativos con potencial biofertilizante para una alternativa de agricultura limpia en el valle del Sinú medio*. (Departamento de Córdoba). En VII Simposio Latinoamericano de Química Analítica y Ambiental. Ponencia Oral. Memorias
- Martínez, R., Dibut, B., Casanova, I. y Ortega, M. (1997). Acción estimuladora de *Azotobacter chroococcum* sobre el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mil.) en suelo ferralítico rojo. Efecto sobre el semillero. *Agrotecnia de Cuba*, 27(1), 23-26
- Meléndez, G. y Molina, E. (2001). *Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de cultivos en Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.

- Ramírez, F. (2000). *Manejo nutricional y fertilización balanceada en el cultivo de paprika. Manejo del cultivo de paprika*. Arequipa.
- Rivera, R. Ruíz, L., Riera, M., Simó, J., Fundora, L., Calderón, A., Martín-Cárdenas, J., Marrero, Y. y Joao, J. (2012). La efectividad del biofertilizante Ecomic® en el cultivo de la yuca. Resultados de las campañas de extensiones con productores. *Cultivos Tropicales*, 33(1), 5-10.