

LOS BIOFERTILIZANTES Y  
SU USO EN CULTIVOS:  
EL MAÍZ (*Zea mays*) COMO  
CASO DE ESTUDIO

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Melgarejo Muñoz, Luz Marina, 1965-

Los biofertilizantes y su uso en cultivos: el maíz (*Zea mays*) como caso de estudio / equipo de investigación, Luz Marina Melgarejo [y otros seis]; editoras, Luz Marina Melgarejo, María Angélica Leal Leal; grupo de investigación asociado, Fisiología del Estrés y Biodiversidad en Plantas y Microorganismos. -- Primera edición. -- Bogotá: Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias. Departamento de Biología, 2017.

32 páginas: ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías, mapas.

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-775-975-4 (rústica). -- ISBN 978-958- 775-976-1 (e-book).

1. Biofertilizantes 2. Maíz -- Abonos y fertilizantes -- Cundinamarca (Colombia) 3. *Zea mays* 4. Bacteria fijadora del nitrógeno 5. Solubilización 6. Fertilizantes fosforados 7. Buenas prácticas agrícolas I. Leal Leal, María Angélica, 1991-, autor, editor II. Sánchez Nieves, Jimena, 1970-, autor, III. Barriga Romero, Óscar Fernando, 1984-, autor IV. García Morantes, Jenny Liliana, 1986-, autor V. Flechas Bejarano, Natalia Catalina, 1988-, autor VI. Ruíz, Elkin Marcelo, 1979-, autor VII. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias. Grupo de Investigación Fisiología del Estrés y Biodiversidad en Plantas y Microorganismos VIII. Título IX. Serie

CDD-23 631.86 / 2017

**LOS BIOFERTILIZANTES Y SU USO EN CULTIVOS: EL MAÍZ (*Zea mays*) COMO CASO DE ESTUDIO**, es un libro de carácter científico-divulgativo en relación con el tema del desarrollo de fertilizantes amigables con el ambiente. Se presentan resultados en el marco del proyecto POTENCIAL BIOFERTILIZANTE DE BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO Y SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS EN CULTIVOS DE MAÍZ (*Zea mays*) EN LOS MUNICIPIOS DE MOSQUERA Y GACHETÁ (CUNDINAMARCA-COLOMBIA). Los textos presentados en la publicación expresan la investigación de los autores y la Universidad Nacional de Colombia no se compromete directamente con la opinión que estos pueden suscitar.

# LOS BIOFERTILIZANTES Y SU USO EN CULTIVOS: EL MAÍZ (*Zea mays*) COMO CASO DE ESTUDIO

## EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

Luz Marina Melgarejo. Bióloga. Ph. D.  
Jimena Sánchez Nieves. Bacterióloga. M. Sc.  
María Angélica Leal Leal. Bióloga.  
Oscar Fernando Barriga Romero. Biólogo.  
Jenny Liliana García Morante. Ing. Agrónoma. M. Sc.  
Natalia Catalina Flechas Bejarano. Bióloga.  
Elkin Marcelo Ruiz. Técnico.

## Editoras

Luz Marina Melgarejo  
María Angélica Leal Leal



**SEC** CIENCIA  
& TECNOLOGÍA  
GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA



**CUNDINAMARCA**  
unidos podemos más



ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA



**Gobernador de Cundinamarca:**

Jorge Emilio Rey Ángel

**Secretario Ciencia y Tecnología:**

Óscar Eduardo Rodríguez

**Universidad Nacional de Colombia:**

**Rector:** Ignacio Mantilla Prada

**Vicerrector Sede Bogotá:** Jaime Franky Rodríguez

**Director División de Investigación y Extensión Sede Bogotá:** Jorge Alexis Rodríguez López

**Decano Facultad de Ciencias:** Jaime Aguirre Ceballos

**Directora Departamento de Biología:** Consuelo Burbano Montenegro

**Grupo de investigación asociado:** Fisiología del Estrés y Biodiversidad en Plantas y Microorganismos COL 0033097

**Dirección Comité**

**Editorial y de proyecto:** Luz Marina Melgarejo

**Editores:** Luz Marina Melgarejo y María Angélica Leal Leal

**Corrección de estilo:** Carlos Almeyda

**Autores**

Luz Marina Melgarejo / Jimena Sánchez Nieves / María Angélica Leal Leal

Óscar Fernando Barriga Romero / Jenny Liliana García Morantes

Natalia Catalina Flechas Bejarano / Elkin Marcelo Ruiz

**Ilustraciones propias y modificadas:** Equipo de investigación

**Diseño y diagramación:** Héctor Suárez Castro

**Impresor:** DISONEX

**Contacto del grupo**

Tel. 3165000 ext. 11334

e-mail: [Immelgarejom@unal.edu.co](mailto:Immelgarejom@unal.edu.co)

Universidad Nacional de Colombia

Cra 45 No 26-85 Edificio 421

[www.unal.edu.co](http://www.unal.edu.co)

Reservados todos los derechos morales de esta edición para la Universidad Nacional de Colombia y el Grupo de Fisiología del estrés y Biodiversidad en Plantas y Microorganismos.

Derechos de autor y licencia de distribución (Ver <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/>)

No se permite la generación de recursos económicos con copias de este material.

Esta obra deberá ser citada del siguiente modo: Melgarejo LM., Sánchez J., Leal MA., Barriga O., García J., Flechas N., Ruiz E. (2017). LOS BIOFERTILIZANTES Y SU USO EN CULTIVOS: EL MAÍZ (*Zea mays*) COMO CASO DE ESTUDIO. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

## Contenido

Agradecimientos	6
Dedicatoria	7
Presentación	7
Prólogo	8
1. Introducción	10
2. Microbiología	11
3. Fertilización	12
El maíz y su fertilización	12
Biofertilizantes	13
Biofertilizantes en el cultivo de maíz	13
4. Las buenas prácticas agrícolas y el uso de biofertilizantes	14
¿Qué son las buenas prácticas agrícolas (BPA)?	14
Las BPA en Colombia	16
Manejo de los biofertilizantes	17
5. Implementación de biofertilizantes en el cultivo de maíz, bajo condiciones de dos municipios de Cundinamarca-Colombia	18
Material vegetal y microorganismos	19
Resultados del ensayo	22
Conclusión	28
Referencias bibliográficas	29

## I. Agradecimientos

Agradecemos a la Gobernación de Cundinamarca, quienes a través de la Secretaría de Ciencia y Tecnología, mediante contrato SCC112-2015, aportaron la financiación para el proyecto de investigación: Potencial biofertilizante de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos en cultivos de maíz (*Zea mays*) en los municipios de Mosquera y Gachetá (Cundinamarca-Colombia).

A la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia. A la Secretaría de Ambiente de la Alcaldía de Mosquera. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en su Cead Gachetá, por abrirnos las puertas y ofrecernos su colaboración. Al señor Sandro Pérez coordinador académico del Centro de Biotecnología Agropecuaria del Servicio Nacional de Aprendizaje, Regional Mosquera, por su valiosa ayuda en la realización de talleres.

Al señor Gustavo Rodríguez y a su esposa, la señora Adelaida, por la colaboración tanto en el terreno de Gachetá como con sus múltiples consejos. A la señora Martha Penagos, coordinadora del IED Técnica Agropecuaria Martín Romero de Gama, por su espacio y colaboración en la realización de los talleres.

A Billy Bryan Escorcía Otálora por la gestión inicial en la escritura y desarrollo del proyecto.

A Ana Julia Romero, Óscar Cristiano, Aureliano Díaz y Elizabeth Leal por su invaluable ayuda en el mantenimiento de los cultivos para el buen desarrollo del proyecto. A Cristina Mateus y Mauricio Sánchez por su ayuda en el tema de transporte.

A la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, en las dependencias de Decanatura, Vicedecanatura de Investigación y Unidad Administrativa, por el constante apoyo al desarrollo de este proyecto. Al departamento de Biología por brindar sus espacios y recursos, tanto en infraestructura y equipos, como en el talento humano. A Gloria

Alzate, Yanira Moreno, Mariela Alfonso, Diana Polo, Harold Serna, Milena Espitia, Katherine Sutil, Luis Eduardo Almanza, Leider Vanegas, Jeisson García, Lilia Esperanza Moreno, por sus gestiones y colaboración atenta.

A Amanda Gómez, Cristhian Mejía, Johana Sánchez, Luis Fernando Posada, Jairo Martínez por sus intervenciones en el proyecto. A los asistentes a los talleres y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron con la ejecución del proyecto.

## II. Dedicatoria

El presente libro, está dedicado a todas las personas que con trabajo y esfuerzo producen día a día alimentos en el campo. A los estudiantes para que tengan una perspectiva más amplia de su quehacer en ciencia, a nuestras familias que han sido un apoyo constante en cada proyecto que hemos emprendido y quienes serán con seguridad los más fieles compañeros en los caminos futuros.

## III. Presentación

Los biofertilizantes y su uso en cultivos: el maíz (*Zea mays*) como caso de estudio, busca introducirlo en esta área del conocimiento, a través del estudio de la relación planta-suelo-microorganismo; es un libro para todo aquel que esté interesado en investigar en este campo. El texto que ahora tiene en sus manos pretende dar una breve mirada e introducirlo a la temática de los fertilizantes donde el uso de microorganismos se presenta como una alternativa de producción limpia. Esperamos encuentren en este material perspectivas, que permitan ampliar el horizonte y un punto de referencia para plantear nuevas ideas.

La presente edición, surge como resultado del trabajo del equipo de investigadores participantes en el proyecto Colombia y de los miembros vinculados al proyecto: Potencial biofertilizante de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos en cultivos de maíz (*Zea mays*) en los municipios de Mosquera y Gachetá (Cundinamarca-Colombia). Esperamos que usted, apreciado lector, disfrute este libro.

Gracias por leernos.

Editoras.

## Prólogo

La Ciencia, la Tecnología y la Innovación son reconocidas actualmente, con mayor claridad que en años anteriores, como lo es ahora un factor decisivo para la transformación económica, social y ambiental en todo el mundo. En la actualidad se reconoce la importancia del papel de las Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI) como motores del desarrollo socioeconómico.

En este sentido, el departamento de Cundinamarca ha emprendido estrategias para la promoción y generación de procesos de CTel, que tengan como finalidad el desarrollo territorial soportado en el conocimiento que mediante la integración de los niveles sociales, productivos e institucionales impacten de manera positiva las dinámicas del mismo territorio y generen progreso para la comunidad.

La construcción de las ACTI desde la perspectiva de la competitividad, se ha construido en conjunto mediante las relaciones regionales Bogotá – Cundinamarca; consolidando a partir del 2011, en cabeza del departamento, las agendas de desarrollo tecnológico para los sectores de: Salud, Educación, Desarrollo Social y Agrícola.

En este sentido, las líneas estratégicas trazadas desde el Plan de Desarrollo Departamental “UNIDOS PODEMOS MAS, 2016-2019”, teniendo en cuenta el índice departamental de competitividad para el año 2015, realizado por el Consejo Privado de Competitividad y la Universidad del Rosario – Cundinamarca se encuentra en el grupo de departamentos de mayor grado de desarrollo, ocupando el séptimo puesto entre 25 entes territoriales; es así como se establece el eje estratégico denominado Competitividad Sostenible, el cual busca el progreso económico y social sin poner en riesgo la esfera ambiental de los territorios.



De esta forma, la implementación de actividades sustentables en los procesos de producción agrícola, han marcado el factor diferenciador para el ingreso a mercados especiales, permitiendo estar a la vanguardia en las dinámicas mundiales de desarrollo sostenible. Es así, que la implementación de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola y las buenas prácticas, conllevan a un menor impacto sobre el ambiente y la salud de los trabajadores.

Una de las acciones en el marco de la implementación de las actividades sustentables, es el uso de biofertilizantes, como estrategia alternativa para el manejo de cultivos de interés comercial, lo cual ha generado una corriente de investigación y desarrollo en el uso de agentes biológicos para el incremento de la productividad y optimización de la calidad del suelo.

Gobernador de Cundinamarca

## 1. INTRODUCCIÓN

En los años ochenta se triplicó el uso de plaguicidas, fungicidas y abonos de tipo inorgánico, buscando aumentar la producción agrícola y el desarrollo de cultivos en diferentes sitios, particularmente en zonas con alto potencial agrícola como Europa y Estados Unidos; a esto se le denominó la revolución verde. Este uso intensivo de productos químicos ha generado problemas como resistencia de plagas, aumento de la salinidad en los suelos y disminución de fertilidad en los mismos (Bhardwaj *et al.*, 2014).

Según Moreno (2007), el desarrollo de tecnologías limpias con producción de biopreparados microbianos (biofertilizantes y/o fitoestimuladores) es una alternativa para la sustitución parcial o total de fertilizantes minerales con la consecuente disminución de costos y aumento en la producción de alimentos limpios, generando beneficios al destinatario del producto y a los consumidores. Así mismo, se ha reportado que los biofertilizantes son generados por el uso de microorganismos que bajo diferentes mecanismos de acción, aumentan la productividad de los cultivos (Nagananda *et al.*, 2010). El análisis de la relación planta- microorganismo es un área que no ha sido del todo explorado para el aislamiento, formulación y diseño de biofertilizantes.- Algunos de los aspectos a tener en cuenta para la obtención de biofertilizantes involucran la necesidad de evaluar el uso de diferentes sustratos y métodos de formulación para mejorar la supervivencia de los microorganismos en el inoculante, además de contemplar la posibilidad de utilizar poli – inóculos. Así mismo, en términos de control de calidad es fundamental revisar aspectos relacionados con la selección y adecuada identificación de las cepas, la calidad y concentración del inóculo, el mejoramiento del rendimiento del cultivo y la reducción de la aplicación de fertilizantes químicos (Kennedy *et al.*, 2004; Nguyen *et al.*, 2003; Sosa *et al.*, 2006; Uribe *et al.*, 2010; Sánchez, 2015).

El creciente uso de biofertilizantes, como estrategia alternativa para el manejo de cultivos de interés comercial, ha generado una corriente de investigación y desarrollo en el uso de agentes biológicos para el incremento de la productividad y optimización de la calidad del suelo.

El descubrimiento y aplicación de biofertilizantes comprende el conocimiento de un grupo funcional de bacterias, denominadas rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (en inglés como PGPR – Plant Growth Promoting Rhizobacteria), las cuales se encuentran ubicadas principalmente en el ambiente de la rizósfera (entendiéndose como el espacio circundante en el que se desarrolla el sistema radical de las plantas), y que están presentes en muchas de las dinámicas ecológicas del suelo. Estas pueden ser responsables del control biológico de algunos microorganismos potencialmente patógenos para algunas plantas, así como desempeñar un papel importante en el ciclaje de nutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P), carbono (C), además de micronutrientes (K, Fe, Mg, Mn, Zn, Co, entre otros). Otro aspecto importante de las bacterias PGPR, y de gran aplicación, es su relación con la dinámica fisiológica de muchas plantas (Wu *et al.*, 2005; Zuñiga, 2010).

El estudio de los biofertilizantes ha permitido la obtención de herramientas para desarrollar sistemas alternativos de siembra y optimización de los ya existentes a gran escala, por la acción de algunos microorganismos que puedan incrementar el crecimiento vegetal. Además, son más amigables con el medio ambiente y con potencial para ser implementados en las Buenas prácticas agrícolas (BPA).

El presente libro tiene como objetivo revisar conceptos asociados con la biofertilización y reportar algunos resultados obtenidos con la ejecución del proyecto “Potencial biofertilizante de bacterias fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfatos en cultivos de maíz (*Zea mays*) en los municipios de Mosquera y Gachetá (Cundinamarca-Colombia)”.

## 2. MICROBIOLOGÍA

Una de las preguntas que suelen presentarse en este campo es, ¿cuál es el alcance de la microbiología?, la respuesta es que la microbiología es bastante amplia, pudiendo abarcar estudios que interactúan con las demás áreas de la biología. Si los microorganismos pueden presentarse en tantas formas, lugares y metabolismos diferentes, es inherente su estudio en relación a los demás agentes biológicos. Estos pequeños seres vivos, que solo pueden ser estudiados a través de técnicas microscópicas, han sido constantemente estigmatizados como productores de enfermedades en plantas, animales y el ser

humano. Sin embargo, la realidad es otra, porque la mayoría de ellos aportan grandes beneficios para los diferentes procesos básicos en la vida como ayudar a mejorar la calidad de los alimentos, limpiar suelos y aguas, mejorar el crecimiento de las plantas y elevar la calidad de los cultivos. Es así que se encuentran, por ejemplo, microorganismos que son benéficos como las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal o PGPR (siglas en inglés) (Kloepper & Schorth, 1978), las bacterias fijadoras de nitrógeno, los solubilizadores de fosfatos (pueden ser bacterias u hongos), entre otros. En la interacción planta-microorganismo, la planta aporta compuestos como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y vitaminas; los microorganismos por su parte, contribuyen con moléculas que actúan sobre la inmunidad vegetal, el crecimiento y la morfogénesis de la planta (Esquivel *et al.*, 2013).

Las diferentes actividades que ha venido desarrollando el hombre en la agricultura moderna han ocasionado la reducción o desaparición de ecosistemas naturales, así como problemas ambientales asociados a la degradación de tierras, contaminación de aguas, agotamiento de aguas subterráneas y cambio climático (Mukhtar *et al.*, 2014). Un ejemplo de esto es la eutroficación de las aguas con producción de gases de efecto invernadero debido al intensivo uso de fertilizantes (Jackson *et al.*, 2008). Sin embargo, la utilización de determinados microorganismos como las bacterias ha logrado llevar a una disminución en la utilización de fertilizantes químicos, sin afectar la productividad de los cultivos (Kennedy *et al.*, 2004).

### 3. FERTILIZACIÓN

#### El maíz y su fertilización

Una de las especies más importantes a nivel comercial, cultural y de alimentación ha sido el maíz (*Zea mays*), la cual constituye una de las plantas de mayor explotación en el mundo, principalmente en Latinoamérica, siendo parte principal de la dieta de la población; además de ser fuente importante en la producción de combustibles alternativos y alimentación de animales (Ranum *et al.*, 2014). Según Montañez & Sicardi (2013), para obtener una producción de maíz equivalente a 10 Ton/ha, es necesario aplicar al suelo cerca de 140 Kg de nitrógeno, 50 Kg de óxido fosfórico y 80 Kg de óxido de potasio. Sin embargo y como

ejemplo, menos del 50% del nitrógeno aplicado es usado por la planta lo cual puede generar una sobrecarga del suelo. Este exceso, puede afectar las condiciones del suelo y contaminar fuentes hídricas por procesos como percolación y/o lixiviación.

## Biofertilizantes

Como otra alternativa, durante las últimas décadas, varios estudios refieren la utilización de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR), de bacterias fijadoras de nitrógeno y de hongos y bacterias solubilizadoras de fosfato, como agentes de uso biológico para la promoción del crecimiento vegetal. Kloepper *et al.* (1989), indican que las PGPR están asociadas principalmente con varios procesos de obtención de nutrientes del medio ambiente, haciéndolos disponibles y posteriormente aprovechables por parte de la planta. Igualmente, se han referenciado microorganismos relacionados con el ciclaje de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, y en la obtención de hierro y otros microelementos (Wu *et al.*, 2005; Gholami *et al.*, 2009).

Los biofertilizantes se han desarrollado a partir de microorganismos que han demostrado tener efectos en el crecimiento vegetal. Bashan *et al.* (2004), por ejemplo, generaron un compendio de estudios en donde muestran la acción de varias especies bacterianas del género *Azotobacter*, y su relación con las plantas, muchas de interés comercial, debido a que involucra procesos como la fijación de nitrógeno atmosférico y la solubilización del fósforo presente en forma mineral en rocas.

## Biofertilizantes en el cultivo de maíz

Wu *et al.* (2005), desarrollaron algunos biofertilizantes, entre los cuales incorporaron hongos de tipo micorrizas arbusculares como *Glomus mosseae* y *Glomus intraradices*, bacterias como *Azotobacter sp.*, y varias especies del género *Bacillus* de acción conocida en la solubilización de fósforo y potasio. Estos biofertilizantes demostraron una mejora en el crecimiento del maíz, comparable con tratamientos de fertilización química convencional; por otra parte, mostraron que existe una dinámica de crecimiento entre las poblaciones de hongos y poblaciones bacterianas encargadas de una misma función. Además, encontraron mejoramiento en el contenido de materia orgánica en los suelos, producto del uso de los microorganismos, lo que incide en el desarrollo

de la planta al reportar mayores cantidades de biomasa acumulada, crecimiento en tamaño y captura de nutrientes.

El-Kholy *et al.* (2005), evaluaron la influencia de cepas del género *Azospirillum* y cepas de levaduras *Rhodotorula glutinis* en cantidades mínimas de fertilizantes de tipo inorgánico (NPK) en cultivos de maíz. Observaron que una dosis media entre la fertilización de tipo inorgánico y la acción de los biofertilizantes, tiene efecto positivo a nivel de la altura de las plantas, de la materia seca contenida en el tallo y del tamaño del lóbulo de las hojas. Adicionalmente, evidenciaron una especie de suplemento de los biofertilizantes a nivel de micro y macronutrientes, cuando las concentraciones de fertilización inorgánica usada fueron mínimas. Por otra parte, Biari *et al.* (2008), evaluaron en diferentes variedades de maíz el efecto de la inoculación de PGPR en la fijación de nitrógeno, observando un aumento de entre el 22% hasta casi el 50% en peso seco, en comparación con tratamientos control basados en fertilización tradicional. Se mejoraron parámetros como contenido de nitrógeno en granos y su peso por hectárea, en cerca del 16%.

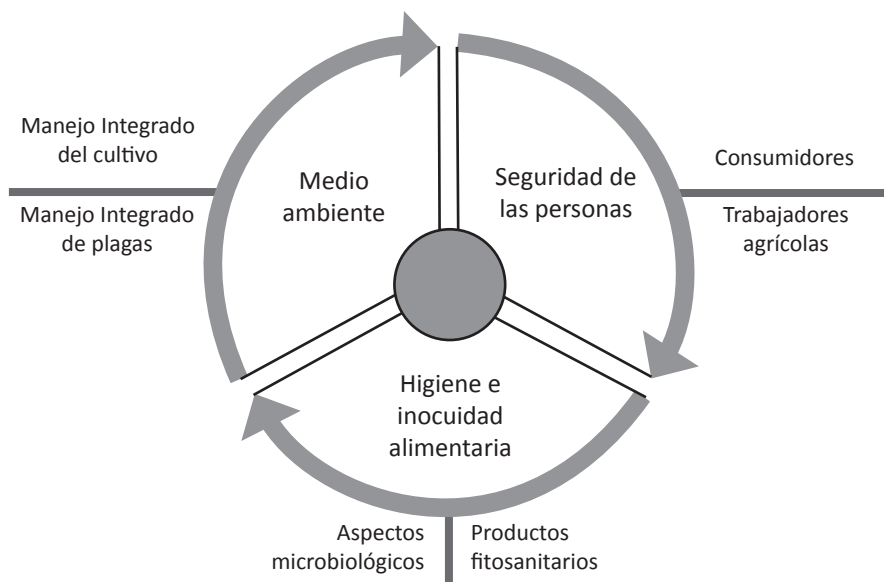
En Colombia, López-Ortega *et al.* (2013), evaluaron varias cepas bacterianas involucradas en la solubilización de fosfatos y la producción de indoles, moléculas implicadas en el crecimiento vegetal. Los resultados mostraron un incremento en la biomasa vegetal en cerca de un 39% y una mejora del 10% de la absorción del fósforo disponible en las plantas.

## 4. LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y EL USO DE BIOFERTILIZANTES

### ¿Qué son las Buenas prácticas agrícolas (BPA)?

Las Buenas prácticas agrícolas (BPA), se definen según la FAO (2012) como un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas, en los cuales se debe tener en cuenta el medio ambiente, y la sostenibilidad económica y social de los procesos agropecuarios; dando como resultado seguridad y calidad en los productos derivados de la producción agrícola, ya sea en productos frescos para su consumo directo o en el proceso agroindustrial.

En la figura 1, se representan los principios básicos de las BPA. La higiene e inocuidad, que hace referencia al conjunto de condiciones y



**Figura 1.** Principios básicos de las buenas prácticas agrícolas (BPA) según la FAO (2012).

medidas necesarias durante la producción, distribución y preparación de alimentos. Relacionando aspectos de la inocuidad microbiológica y química de los alimentos. Para la implementación de las BPA se deben tomar en cuenta la protección y conservación del medio ambiente mediante prácticas agrícolas que tengan un bajo impacto y ayuden a conservar el medio ambiente. La seguridad de las personas, tanto la salud de los trabajadores agrícolas como la salud de los consumidores, es otro aspecto importante a tener en cuenta.

En el caso del uso del recurso suelo, este se encuentra contemplado dentro del manejo del medio ambiente. Este recurso ha sido afectado por el uso excesivo de fertilizantes y coadyuvantes de tipo inorgánico, los cuales han degradado sustancialmente los suelos, llevándolos a procesos erosivos, o en otros casos a toxicidad por exceso de elementos químicos, afectando las características de los suelos, contaminando las fuentes hídricas subterráneas, el medio ambiente circundante y afectando la salud de las comunidades (García *et al.*, 2015; Bhardwaj *et al.*, 2014). Tomando en cuenta esto, los biofertilizantes son una alternativa para la fertilización del cultivo en el marco de las buenas prácticas agrícolas, ya

que estos suplen algunas necesidades nutricionales del cultivo, además de mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo y ser amigables con el ambiente.

### Las BPA en Colombia

Para el caso de Colombia, la entidad que certifica las buenas prácticas agrícolas es el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), por medio de la resolución 4174 de 2009.

Buenas prácticas agrícolas: conjunto de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola, haciendo énfasis en la inocuidad del producto, y con el menor impacto de las prácticas de producción sobre el ambiente y la salud de los trabajadores.

En esta resolución, para el caso de fertilización de los suelos, se resaltan las siguientes consideraciones:

- ✓ Diseñar un plan de fertilización para la nutrición del cultivo, basada en el análisis del suelo y los requerimientos de la especie sembrada. Este plan debe ser elaborado y ejecutado bajo la supervisión del asistente técnico.
- ✓ Utilizar insumos agrícolas y abonos orgánicos registrados ante el ICA y adquiridos en los establecimientos de comercio registrados por esta entidad.
- ✓ Contar con un procedimiento para la preparación de abonos orgánicos en el predio, llevar registros documentales que incluyan información sobre el origen del material, los procedimientos de transformación y los controles realizados. No se deben usar heces humanas tratadas o sin tratar, desechos urbanos sin clasificación y cualquier otro material que presente contaminación microbiológica, metales pesados u otros productos químicos.

Como se puede apreciar, no se hace referencia a los biofertilizantes. El presente trabajo de investigación muestra un primer paso para que los biofertilizantes puedan ser incorporados en las buenas prácticas del cultivo de maíz en nuestro país.



## Manejo de los biofertilizantes

Entre las estrategias que se utilizan para el manejo de biofertilizantes, es importante tener en cuenta cómo se inoculan o incorporan al suelo, para obtener los mejores resultados, a la hora de generar una colonización microbiana exitosa; ya que esto permite que los diversos mecanismos de los microorganismos (generación de comunicación intercelular para promoción de señales, inducción hormonal, entre otros), sean efectivos y produzcan la promoción vegetal.

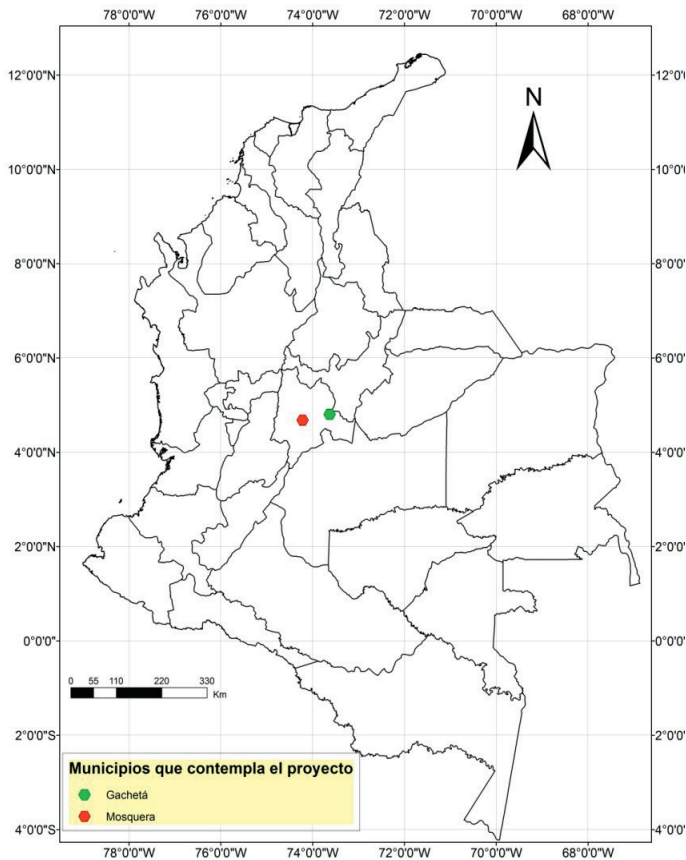
En varios estudios con especies como el de la halófito *Salicornia bigelovii* (Rueda-Puente *et al.*, 2009), o como el de la lechuga *Lactuca sativa* (Vargas *et al.*, 2001), se aplicaron, respectivamente, inoculación de microorganismos en líquido; es decir, produjeron un caldo nutritivo con la bacteria de interés y embebieron en él, totalmente la semilla de la planta a evaluar para determinar el porcentaje de germinación. Encontraron que los porcentajes de germinación fueron superiores en las semillas tratadas con inóculo bacteriano; adicionalmente las cepas bacterianas utilizadas en esos estudios optimizaron procesos asociados al crecimiento y desarrollo vegetal. Por ello se utilizó dicha metodología para asegurar la presencia del microorganismo en las diferentes etapas del proceso de crecimiento y desarrollo del maíz, y además se incorporó como parte de las BPA.

Los microorganismos de interés que se trabajan principalmente con maíz (*Zea mays*), buscan optimizar los procesos de recaptura de los elementos esenciales presentes en el sustrato suelo, debido a la penetración que realizan a la corteza radical de las plantas. Se conoce que *Azospirillum* sp., por ejemplo, genera crecimiento radical por la inducción de citoquininas, giberelinas y auxinas principalmente (Lerner *et al.*, 2006).

El-Kholy *et al.* (2005), evidenciaron que los biofertilizantes pueden ser combinados con fertilización inorgánica en cultivos de maíz; para ello modificaron las concentraciones de fertilización química (100% NPK) con dosis variables de biofertilizantes, en proporciones de 50:50 y 25:75. Como PGPR utilizaron *Azospirillum brasilense* y la levadura *Rhodotorula glutinis*. En dicho estudio encontraron que hay respuestas similares e incluso superiores en las tasas de crecimiento, comparado con la fertilización química.

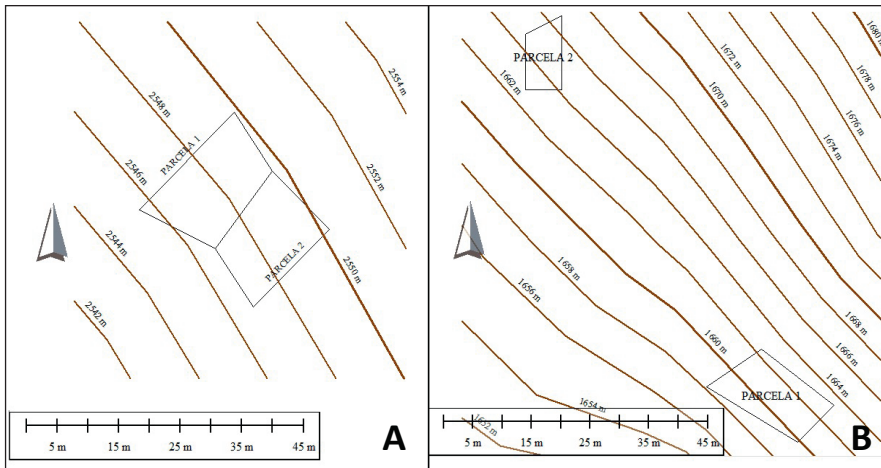
## 5. IMPLEMENTACIÓN DE BIOFERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE MAÍZ, BAJO CONDICIONES DE DOS MUNICIPIOS DE CUNDINAMARCA-COLOMBIA

En el presente trabajo de investigación y con el propósito de realizar evaluación de la aplicación de biofertilizantes en la respuesta fisiológica del maíz, se incorporaron en forma de caldo microbiano las bacterias *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum*. Se realizaron ensayos en parcelas experimentales, en dos localidades del departamento de Cundinamarca, en el municipio de Mosquera, Finca Marengo 4°40'48.48"N; 74°12'59.14"W a una altura aproximada de 2550 msnm, y en el municipio de Gachetá, Finca el Resguardo primero 4°48'13.31"N-73°37'43.49"W a una altura aproximada de 1660 msnm (figura 2).



**Figura 2.** Ubicación de parcelas experimentales cultivadas con maíz (*Zea mays*) variedad Medellín, establecidas para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

En cada localidad, fueron ubicadas dos parcelas experimentales, cada una con distancia de siembra de maíz de 40 cm entre plantas y 80 a 90 cm entre surcos. En Mosquera cada parcela contaba con un área de 198m<sup>2</sup>, suelo franco-arcilloso y una pendiente del 20 % (figura 3A). En Gachetá, una de las parcelas con un área de 215 m<sup>2</sup>, suelo franco-arcilloso y pendiente de 47 %; la otra parcela con un área de 185m<sup>2</sup>, suelo franco-arcilloso y pendiente del 29% (figura 3B).

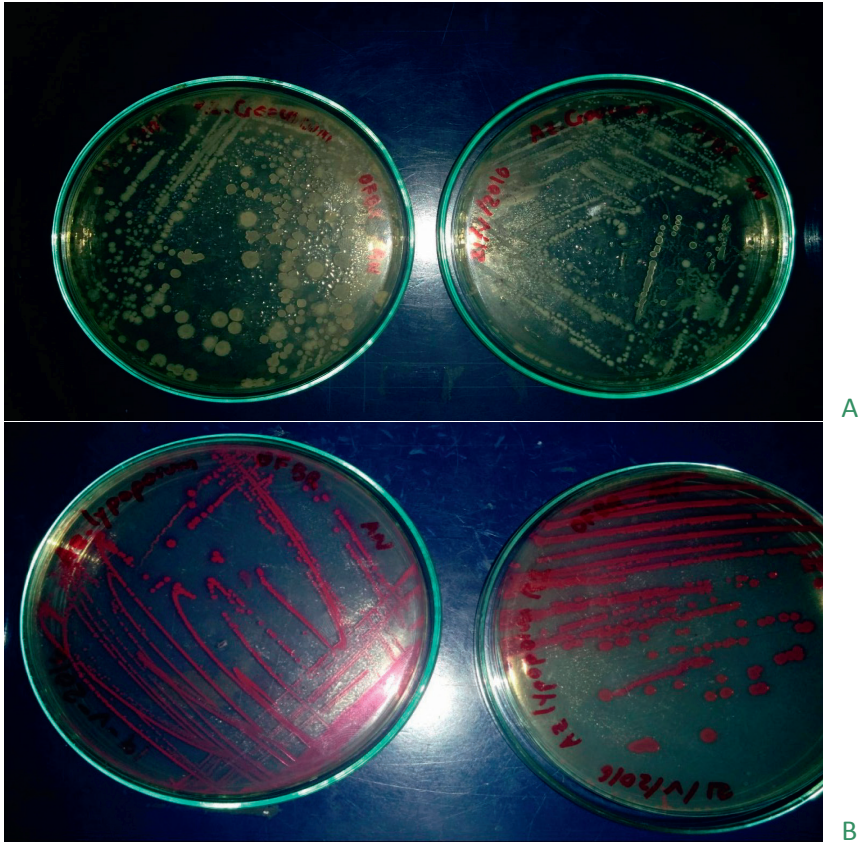


**Figura 3.** Mapas de ubicación de parcelas experimentales. A. Municipio de Mosquera. B. Municipio de Gachetá. Cundinamarca - Colombia.

### Material vegetal y microorganismos

Para los ensayos de germinación y las pruebas en campo, se usaron semillas de maíz (*Zea mays*) variedad Medellín, adquiridas en Semicol S.A. Se escogió esta variedad, basada en su capacidad de crecimiento y en el gradiente altitudinal de desarrollo y crecimiento, que fue compatible con los dos sitios donde se realizó el trabajo de investigación (1800-2400 msnm).

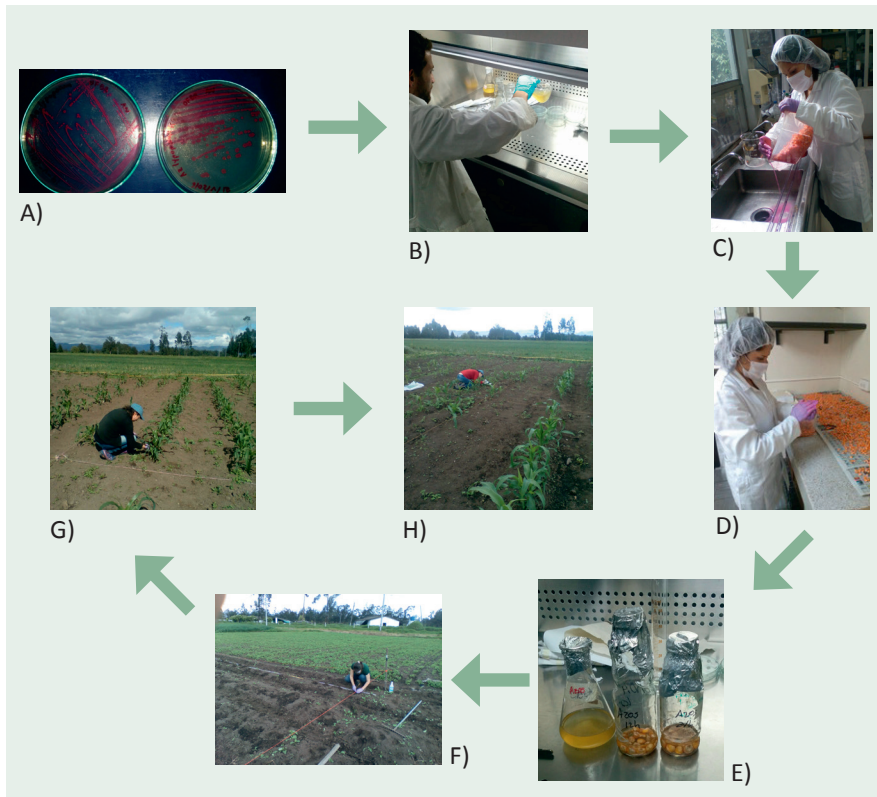
Como inóculo, se escogieron dos cepas bacterianas con potencial registrado en bibliografía de tener acción promotora de crecimiento vegetal, ambas con capacidad de solubilizar fosfatos ( $PO_4^{3-}$ ) y fijar nitrógeno ( $N_2$ ); como lo son, *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum* (figura 4). Pertenecientes al cepario del Laboratorio de Microbiología del



**Figura 4.** Vista macroscópica de los microorganismos usados como inóculo –biofertilizante en cultivo de maíz. A) *Azotobacter chroococcum*. B) *Azospirillum lipoferum*. Fotos laboratorio de microbiología, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

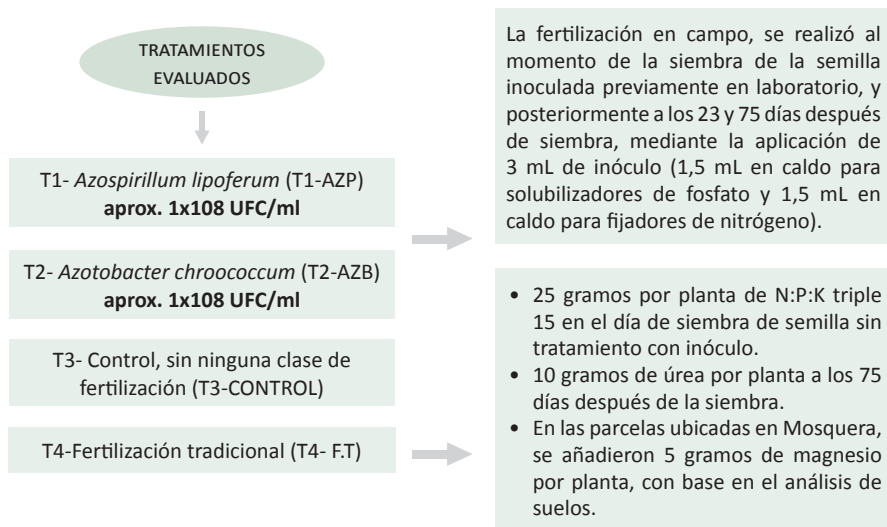
Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá y obtenidas en investigaciones previas, efectuadas en asocio con el profesor Javier Vanegas, docente en la Universidad Antonio Nariño, y para las cuales se obtuvo actividad preliminar de promoción de crecimiento vegetal en estudios realizados con lechuga (*Lactuca sativa*).

El procedimiento general, realizado en el trabajo de investigación, desde selección de las cepas a evaluar hasta seguimiento en crecimiento y desarrollo del maíz, establecido en parcelas experimentales, se observa en la figura 5.



**Figura 5.** Flujograma experimental realizado en cultivos de maíz. A) Selección de las cepas promotoras de crecimiento vegetal, provenientes de suelo rizosférico de cultivos de lechuga. B) Preparación del inóculo, aumento masivo de los microorganismos en caldos de cultivo. C) Lavado de las semillas de maíz (mediante un lavado con etanol al 70% y nueve lavados sucesivos con agua para la eliminación de sustancias químicas preservantes, agregadas por la distribuidora de las semillas). D) Secado de las semillas a temperatura ambiente (18°C). E) Imbibición de las semillas en los respectivos caldos microbianos, durante 12 horas en agitación constante a 200 rpm, a 20°C. F) Siembra de las semillas en parcelas experimentales (Mosquera y Gachetá) y adición de 3 mL de inóculo en caldo nutritivo, por punto de siembra, en concentración  $1 \times 10^8$  UFC. G) Fertilización a los 23 y 75 días después de siembra, realizando aplicación en corona alrededor de las plantas; de 1,5 mL de inóculo en caldo para solubilizadores de fosfato y 1,5 mL de inóculo en caldo para fijadores de nitrógeno, en concentración  $1 \times 10^8$  UFC. H) Evaluación periódica del crecimiento y desarrollo de las plantas, para cada uno de los tratamientos.

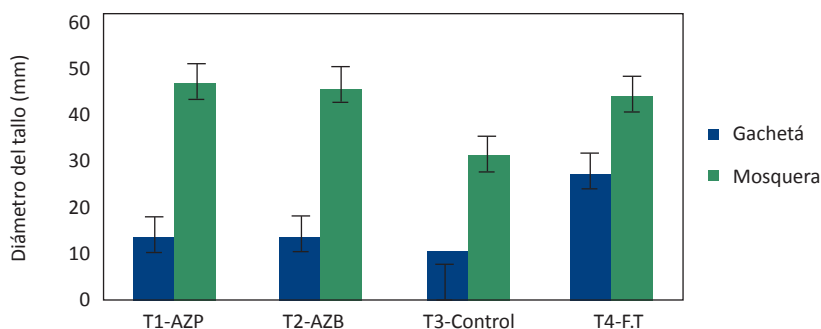
Los tratamientos evaluados, establecidos en las respectivas parcelas experimentales, se presentan en la figura 6.



**Figura 6.** Tratamientos utilizados en el presente trabajo de investigación.

## Resultados del ensayo

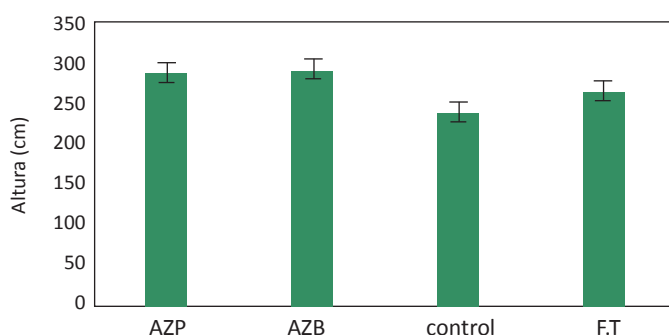
Se presentaron diferencias en las variables fisiológicas, medidas en las plantas de maíz, en los dos sitios evaluados. El diámetro del tallo (figura 7), fue la variable que presentó mayor diferencia; sin embargo, no parece ser por efecto de la fertilización sino por características propias del suelo y factores ambientales de cada una de las zonas. El suelo de las parcelas de Gachetá, presentan densidad aparente promedio de 1,36 g/cm<sup>3</sup> y la de Mosquera de 1,23 g/cm<sup>3</sup>, sugiriendo que el suelo de Gachetá es más compacto, lo que impide que las raíces se desarrollen adecuadamente y que puedan tomar el agua necesaria para su desarrollo (Schaetzel & Anderson, 2005). Adicionalmente, el contenido de materia orgánica en los suelos de Gachetá es mayor que en Mosquera, la que probablemente repele el agua impidiendo que se infiltre y por tanto minimiza la disponibilidad de agua para la planta (Schaetzel & Anderson, 2005). Por otra parte, las parcelas experimentales de Gachetá estaban establecidas en pendiente pronunciada, ocasionando así un escurrimiento del recurso hídrico. Estos factores del suelo además de afectar la disponibilidad del recurso hídrico, afectan la actividad de los fertilizantes en especial los biológicos, siendo la pendiente el factor más limitante para el desarrollo de la planta, ya que facilita el lavado de los fertilizantes. Por este motivo,



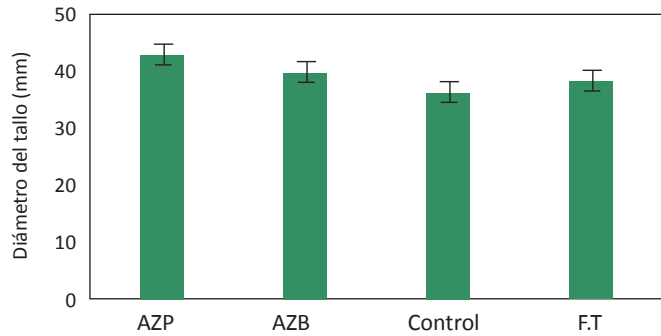
**Figura 7.** Diámetro del tallo de las plantas de maíz sembradas en Mosquera y Gachetá, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10; r=2).

para evaluar los diferentes tratamientos, se analizaron como modelo los resultados de crecimiento y producción de las parcelas experimentales del municipio de Mosquera.

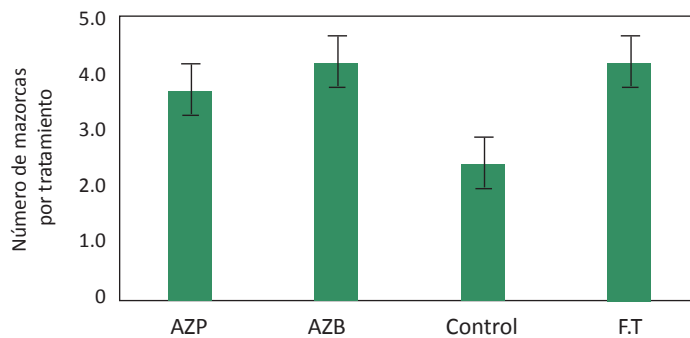
Se tomó en cuenta el muestreo correspondiente a los 133 días después de siembra, fase reproductiva. Los parámetros que arrojaron mayores diferencias entre los tratamientos fueron altura de la planta (figura 8), diámetro del tallo (figura 9), número de mazorcas (figura 10) producidas en 10 plantas por cada uno de los tratamientos, longitud de raíz (figura 11) y peso seco de raíz (figura 12).



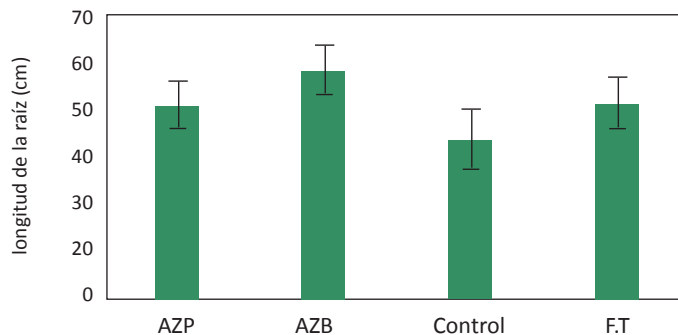
**Figura 8.** Altura de las plantas de maíz sembradas en Mosquera, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10).



**Figura 9.** Diámetro del tallo de las plantas de maíz sembradas en Mosquera, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10).

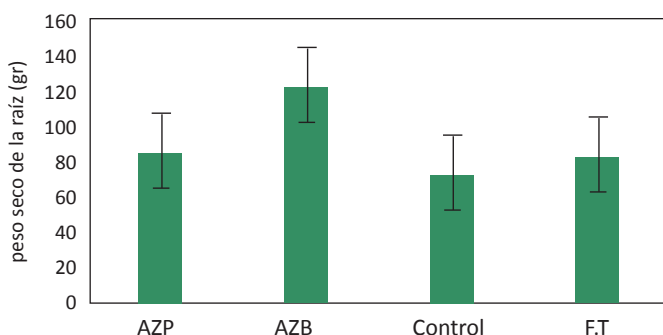


**Figura 10.** Número de mazorcas producidas, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10).



**Figura 11.** Longitud de la raíz de plantas de maíz sembradas en Mosquera, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10).





**Figura 12.** Peso seco de la raíz de plantas de maíz sembradas en Mosquera, utilizando diferentes fuentes de fertilización: *Azospirillum lipoferum* (T1-AZP), *Azotobacter chroococcum* (T2-AZB), control (T3-CONTROL), fertilización tradicional (T4-F.T). Las barras representan el error estándar (n=10).

En general, las plantas que fueron fertilizadas con biofertilizantes, presentaron altura, diámetro de tallo y producción de mazorcas similar a la de la fertilización tradicional, generando en promedio cuatro mazorcas por planta en todos los tratamientos; contrastada con el control donde la producción fue de dos mazorcas por planta. Se obtuvieron igualmente datos muy cercanos en la longitud de la raíz, tratadas con biofertilizantes y fertilización tradicional (figura 11). La biomasa de la raíz fue mayor para el tratamiento con *Azotobacter* respecto a los demás tratamientos.

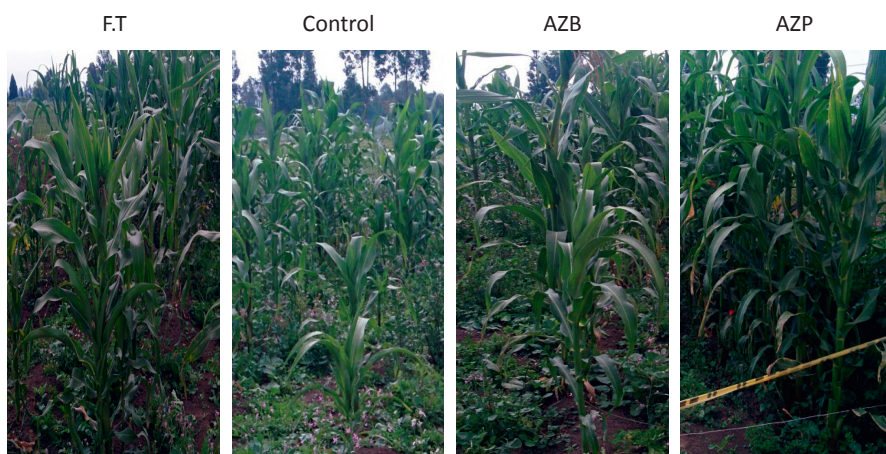
Según Bashan & De-Bashan (2010), estudiando el efecto de *Azospirillum lipoferum* existe un relación entre la expansión y crecimiento de la superficie radical y la inoculación de PGPR en la planta. Otros trabajos como el de Obando *et al.* (2013), evaluaron algunos géneros de *Azotobacter chroococcum*, encontrando también que generan vigor en la parte radical. Dicho proceso está asociado a la mayor captura de nutrientes por parte de la raíz. Varias investigaciones, desde la década del setenta, intentaron probar las relaciones entre la inoculación de especies microbianas con potencial promotor de crecimiento vegetal y la capacidad radical de expansión, crecimiento en biomasa y extensión. Actualmente se plantea que las bacterias por mecanismos directos (endófitos) o indirectos (formación de compuestos químicos de comunicación bacteriana tipo N-acil homoserina lactonas, o formación de

otros compuestos orgánicos) generan reguladores de crecimiento responsables del crecimiento radical. Sin embargo, se puede dar el caso, que la inoculación promueva en la planta una “exploración” de iones y nutrientes dependiente de varias condiciones como humedad, tipo de suelo, entre otros. Esta explicación, según Bashan & De-Bashan (2010), radica en los niveles altos de compuestos nitrogenados sin una fijación aparente por parte de las bacterias.

Otra contribución de las PGPR, sobre el crecimiento y la toma de nutrientes, es la solubilización de fosfatos. *Azospirillum* sp. se conoce por tener gran actividad solubilizadora incluso en condiciones inorgánicas (tipo roca), como lo indican Puente *et al.*, 2004. Dichos autores reportaron que *A. lipoferum* y *A. brasilense* aisladas de una crasulácea son capaces de producir ácido glucónico, un elemento importante en la solubilización de fosfatos inorgánicos. Este mecanismo de acción depende también del aporte de carbohidratos y polisacáridos exudados por parte de la raíz al suelo, como galactosa, ribosa, xilosa y fucosa, lo que permite no solo la solubilización de los fosfatos sino también la movilización de éste hacia la raíz (Bashan & De-Bashan, 2010).

Adicionalmente, los mayores valores, en general, mostrados en el presente trabajo por el tratamiento de inoculación con el género *Azotobacter*, se ha visto en otras especies vegetales, como tomate, avena, entre otras (Mrkovacki & Milic, 2001). Este tipo de microorganismo, se reporta como habitante principal en la superficie radical, generando compuestos como auxinas, citoquininas y moléculas similares al ácido giberélico (GA). Para el caso de la solubilización de fosfatos, se sabe que los géneros *Azotobacter* y *Azospirillum* son esenciales, además de generar importantes consorcios con géneros como *Agrobacterium spp.* y hongos micorrízicos arbusculares (AM) como *Glomus* sp., así como con la bacteria del género *Rhizobium* (Mrkovacki & Milic, 2001).

Finalmente y para contextualizar los resultados obtenidos en el trabajo de investigación se presentan las figuras 13 y 14.



**Figura 13.** Esquema general de cultivo de maíz con sus respectivos tratamientos, a los 128 días después de la siembra, en el municipio de Mosquera (Cundinamarca). Marengo, Universidad Nacional de Colombia.



F.T

Control

AZB

AZP



**Figura 14.** Esquema general de cultivo de maíz con sus respectivos tratamientos, a los 118 días después de la siembra, en el municipio de Gachetá (Cundinamarca). Resguardo Primero, Vía Gacheta-Ubalá

## CONCLUSIÓN

Los biofertilizantes, son un insumo promisorio en la fertilización de cultivos y por tanto una práctica que se podría incluir en las BPA. Se encontró, que los biofertilizantes evaluados promueven el crecimiento y desarrollo vegetal del maíz, pudiendo generar rendimientos mayores o similares a los obtenidos con el uso de fertilización tradicional, siempre y cuando el cultivo se maneje de manera óptima para el control de plagas y enfermedades, riego, entre otros, y se trabaje en condiciones similares de clima y suelo al de las parcelas experimentales que fueron ubicadas en la finca Marengo-Mosquera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bashan, Y., Holguin, G., De-Bashan, E. (2004). *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian journal of microbiology*. 50: 521-577.

Bashan, Y., & De-Bashan, L. E. (2010). Chapter two-How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Advances in agronomy*. 108: 77-136.

Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K. & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*. 13: 1.

Biari, A., Gholami, A., Rahmani, H. (2008). Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. *Journal of Biological Sciences*. 8:1015-1020.

El-Kholy, M. A., El-Ashry, S., & Gomaa, A. M. (2005). Biofertilization of maize crop and its impact on yield and grains nutrient content under low rates of mineral fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research*. 1: 117-121.

Esquivel, R., Gavilanes, M., Cruz, R., Huante, P. (2013). Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC Desaminasa en Rizobacterias, Una revisión. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 36:251-258.

FAO (2012) Manual de buenas prácticas agrícolas para el productor hortofrutícola. Segunda edición. Santiago de Chile.

García, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioengineering*. 2:183-205. doi: 10.3934/bioeng.2015.3.183.

Gholami, A., Shahsavani, S., & Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. 3:9-14

ICA. Resolución 004174 del 06 de noviembre de 2009. Por medio de la cual se reglamenta la certificación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria de frutas y vegetales para consumo en fresco. pp. 14. 2009. En: <http://www.ica.gov.co/getattachment/b0afcc30-d68b-4e41-9fea-66a4360ce60d/2009R4174.aspx>

- Jackson, L. E., Burger, M. & Cavagnaro, T. R. (2008). Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. *Plant Biology*. 59: 341.
- Kennedy, I. R., Choudhury, A. T. M. A., & Kecskés, M. L. (2004). Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited?. *Soil Biology and Biochemistry*. 36:1229-1244.
- Kloepper, J. W., Lifshitz, R., & Zablotowicz, R. M. (1989). Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in biotechnology*. 7:39-44.
- Kloepper, J. W., & Schroth, M. N. (1978). Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In Proceedings of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria. 2:879-882.
- Lerner, A., Herschkovitz, Y., Baudoin, E., Nazaret, S., Moenne-Loccoz, Y., Okon, Y., & Jurkevitch, E. (2006). Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on rhizobacterial communities analyzed by denaturing gradient gel electrophoresis and automated ribosomal intergenic spacer analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 38:1212-1218.
- López-Ortega, M. D. P., Criollo-Campos, P. J., Gómez-Vargas, R. M., Camelo-Rusique, M., Estrada-Bonilla, G., Garrido-Rubiano, M. F., & Bonilla-Buitrago, R. (2013). Characterization of diazotrophic phosphate solubilizing bacteria as growth promoters of maize plants. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 15(2):115-123.
- Montañez, A., & Sicardi, M. (2013). Effects of inoculation on growth promotion and biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) under greenhouse and field conditions. *Basic Research Journals of Agricultural Science and Review*. 2:102-110.
- Moreno, N. 2007. Producción de biofertilizantes y biocontroladores para una agricultura sostenible. P: 261-269. En: Sánchez, J. (Ed). 2007. Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas. 1 Ed. Bogotá: Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. 434 pp.
- Mukhtar, M., Dunger V., Merkel B. (2014). Assessing the Impacts of Climate Change on Hydrology of the Upper Reach of the Spree River: Germany. *Water Resource Management*. 28:2731- 2749.
- Mrkovacki, N., & Milic, V. (2001). Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application. *Annals of Microbiology*. 51:145-158.
- Nagananda, G.S., Das, A., Bhattacharya, S. Y Kalpana, T. 2010. In vitro studies on the effects of biofertilizers (*Azotobacter* and *Rhizobium*) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*. 6: 394-403.
- Nguyen, T.H.; Deaker, R.; Kennedy, I.R.; Roughley, R.J. 2003. The positive yield response of field-grown rice to inoculation with a multistrain biofertiliser in the Hanoi area. Vietnam. *Symbiosis*. 35:231-245.

Obando, M., Rivera, D., & Bonilla, R. (2013). Respuesta fisiológica a la fertilización por *Azotobacter chroococcum* AC1 y fertilización nitrogenada de síntesis sobre el maíz (*Zea mays* L.) en invernadero. *Revista de la sociedad mexicana de biotecnología, y bioingeniería*. AC, 17(1).

Puente, M. E., Bashan, Y., Li, C. Y., & Lebsky, V. K. (2004). Microbial populations and activities in the rhizoplane of rock-weathering desert plants. I. Root colonization and weathering of igneous rocks. *Plant Biology*. 6:629-642.

Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1312:105-112.

Rueda-Puente, E. O., Villegas-Espinoza, J. A., Gerlach-Barrera, L. E., Tarazón-Herrera, M. A., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L. & Preciado-Rangel, P. (2009). Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoamericana*. 27:345-354.

Sánchez, J. 2015. Aspectos generales de microorganismos eficientes en la promoción de crecimiento vegetal y en la biodegradación de plaguicidas residuales en el suelo. p: 175. En: Torrente, A. (Ed). 2015. 1er Seminario Nacional de Actualización en Fertilidad del Suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Universidad Surcolombiana. Neiva, Colombia. 272 pp.

Schaetzl, R., & Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.

Sosa, T.; Sánchez, J.; Melgarejo, L.M. 2006. Enzimas del suelo: generalidades y su papel en agroecosistemas. En: Castilla, L. (Ed). 2006. Biofertilización: alternativa viable para la nutrición vegetal. Ibagué. vol. 1. 195 pp.

Uribe, D.; Sánchez, J.; Vanegas, J. 2010. Role of Microbial Biofertilizers in the Development of a Sustainable Agriculture in the Tropics. Chapter 11. In: Dion, P. (Ed). *Soil Biology and Agricultural in the Tropics*. p: 235 – 250. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 1st Edition. 350 pp.

Vargas, P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J., & Alcántar, G. (2001). Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamericana*. 19:327-335.

Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 125:155-166.

Zuñiga, D. (2010). Caracterización y selección de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo orgánico de maca como herramienta biotecnológica para mejorar su calidad productiva. *Perú biodiverso*, 207.

LOS BIOFERTILIZANTES Y SU USO EN CULTIVOS:  
EL MAÍZ (*Zea mays*) COMO CASO DE ESTUDIO

Esta edición consta de 500 ejemplares.

Se editó, diseñó y diagramó en el Departamento de  
Biología de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

Se imprimió en marzo de 2017 en los talleres de Disonex,

Av. calle 3 No 38-20 int. 3 Bogotá, D. C., Colombia

Fuente principal Calibri, formato 16,5 x 24 centímetros.

En el interior se utilizó papel bond de 70 gramos  
y en la carátula papel esmaltado blanco de 250 gramos