



Manejo de bioproductos y fertilización NPK en maíz cultivado sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en Cuba

Management of bioproducts and NPK fertilization in maize grown on Leached Red Feralitic soils in Cuba

✉ Ramón Rivera Espinosa*, ✉ Pedro José González Cañizares, ✉ Adriano Cabrera Rodríguez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700.

RESUMEN: El maíz es un alimento importante para el hombre y el ganado. En Cuba, su producción se encuentra limitada por un deficiente suministro de nutrientes; no obstante, se han desarrollado diferentes bioproductos, los cuales aportan nutrientes o incrementan la eficiencia en la utilización de estos. Este trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la efectividad de la aplicación conjunta de varios bioproductos, en relación con las dosis de fertilizantes y los rendimientos máximos experimentales del maíz cultivado sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. Se ejecutaron tres experimentos con diferentes cultivares, durante el periodo 2009-2015. Se estudiaron en bloques al azar diversas combinaciones de los bioproductos EcoMic®, Biobras-16®, Fitomas-E®, Quitomax® y Dimargon® con un máximo de cuatro bioproductos en presencia de diferentes dosis de fertilizante NPK, además de tratamientos en los que solo se aplicaron fertilizantes. Se encontró una respuesta beneficiosa a la aplicación conjunta de estos bioproductos, dependiente de la dosis de fertilizante aplicada y del rendimiento máximo obtenido. Para niveles de rendimientos entre 3 y 4 t ha⁻¹ fue suficiente aplicar el 50 % NPK. Cuando el rendimiento se incrementó hasta 5 t ha⁻¹ y en suelos con contenidos altos de fósforo disponible, la dosis debe aumentar a 75 % NK, pero manteniendo el fósforo en 50 %, ya que aplicar 75 % P redujo el rendimiento de la combinación de bioproductos. La aplicación de los bioproductos en presencia del 50 % de la fertilización NPK siempre alcanzó rendimientos similares a los obtenidos al fertilizar con 100 % NPK.

Palabras clave: análogo de brasinoesteroide, *Azotobacter chroococcum*, inoculante micorrízico, quitosano.

ABSTRACT: Maize is an important food source for both humans and livestock. In Cuba, its production is limited by insufficient nutrient supply; however, various bioproducts have been developed that either provide nutrients or enhance their utilization efficiency. This study aimed to evaluate the effectiveness of the combined application of several bioproducts in relation to fertilizer doses and the maximum experimental yields of maize grown on Leached Red Feralitic soils. Three experiments were conducted with different cultivars during the 2009-2015 period. Randomized block designs were used to assess various combinations of the bioproducts EcoMic®, Biobras-16®, Fitomas-E®, Quitomax®, and Dimargon®, with up to four bioproducts applied in the presence of different NPK fertilizer doses, as well as treatments with fertilizer alone. A beneficial response to the combined application of bioproducts was observed, depending on the fertilizer dose and the maximum yield obtained. For yield levels between 3 and 4 t ha⁻¹, applying 50 % NPK was sufficient. When yield increased to 5 t ha⁻¹ and in soils with high available phosphorus content, the dose should be increased to 75 % NK, while maintaining phosphorus at 50 %, since applying 75 % P reduced the yield of the bioproduct combination. The application of bioproducts in the presence of 50 % NPK fertilization consistently achieved yields similar to those obtained with 100 % NPK.

Key words: *Azotobacter chroococcum*, brassinosteroïd analog, chitosan, mycorrhizal inoculant.

*Autor para correspondencia: rriovera03941@gmail.com

Recibido: 02/07/2025

Aceptado: 25/10/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización, Investigación y Procesamiento de los datos- Ramón Rivera Espinosa y Pedro José Gonzalez Cañizares. Escritura y edición final- Ramón Rivera, Adriano Cabrera Rodríguez.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El maíz forma parte de la dieta alimenticia del cubano y, a su vez, es un componente decisivo para la alimentación animal. La producción nacional no cubre las necesidades de este alimento y se requieren importaciones (1), aunque estas resultan insuficientes. Entre las razones de las bajas producciones se encuentran los rendimientos bajos (1) asociados, entre otras causas, con un suministro limitado de nutrientes. De forma general, el suministro de nutrientes se ha basado en la aplicación de fertilizantes minerales, pero la difícil situación económica del país restringe fuertemente las importaciones e incluso la producción nacional de estos insumos, y por ende hay una disponibilidad baja de los mismos en el país.

Desde fines del siglo pasado se potenció el desarrollo de diferentes bioproductos basados tanto en microorganismos edáficos benéficos, a saber: hongos micorrízicos arbusculares, rizobios y otras bacterias promotoras del crecimiento vegetal como de bioestimulantes a base de compuestos con propiedades bioactivas entre los que se encuentran los análogos de brasinoesteroides, quitosanos y oligosacáridos (2). Entre los beneficios comprobados asociados a estos bioproductos se encuentran una mayor absorción de los nutrientes del suelo y de los fertilizantes (3), una mayor fijación del nitrógeno atmosférico (4), promueven la germinación, el crecimiento de las plantas, mayor tolerancia a los estreses y el incremento de los rendimientos (5, 6) todo lo cual conduce a una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes, un mayor aprovechamiento de la capacidad productiva de los cultivares y generalmente, a disminución de las dosis necesarias de estos (3).

La difícil situación económica, la falta de fertilizantes y la existencia creciente de resultados positivos con las aplicaciones de los bioproductos condujeron a la aprobación de una Política de Bioproductos (7). La Política indica incrementar la producción de bioproductos y su uso en las tecnologías agrícolas. Los anteriores bioproductos presentan mecanismos de acción complementarios (8), lo cual avala su aplicación combinada.

El enfoque de trabajo seguido a partir de la casi universalidad de la simbiosis micorrízica arbuscular en los cultivos económicos (9) y sus diversos beneficios asociados con incrementos en la absorción de nutrientes del suelo y de los fertilizantes (3), disminución del daño de algunas plagas (10), establecimiento de relaciones de cooperación con otros microorganismos rizosféricos (11) entre otros, incluye siempre la aplicación de los inoculantes micorrízicos. A partir de las diversas funciones del nitrógeno (12) y de sus requerimientos altos para las plantas (13), incluye asimismo la aplicación de un nitrófijador que será simbótico o asociativo en dependencia del cultivo. Además, se pueden utilizar diferentes estimuladores como los basados en análogos de brasinoesteroídes, quitosanos y oligosacáridos.

Los diferentes bioproductos con excepción de los nitrófijadores no aportan nutrientes al sistema. Los nitrófijadores solo aportan nitrógeno y aún los simbóticos no siempre garantizan todo el requerimiento del cultivo (14), por tanto, el uso de los bioproductos para garantizar las necesidades de los cultivos debe combinarse con aplicaciones de fertilizantes sintéticos y orgánicos, así como abonos verdes y enmendantes dentro del enfoque de manejo integrado de nutrientes (15).

En Cuba abundan los trabajos de integración de los inoculantes micorrízicos con los sistemas de fertilización (3) con resultados positivos, garantizando rendimientos altos con dosis menores de fertilizantes minerales u orgánicos. Asimismo, se reportan beneficios al integrar los inoculantes micorrízicos con rizobios y análogos de brasinoesteroídes en soya (16), con fijadores de nitrógeno endófitos (17) o asociativos (18) en forrajeras, con un estimulador a base de oligosacáridos en maíz (19) entre otros; sin embargo aún no se reportan para el maíz trabajos que optimicen el manejo combinado de más de dos bioproductos y dosis de fertilizantes y logren aprovechar al máximo los beneficios complementarios de los diferentes bioproductos.

Los bioproductos de conjunto con las fuentes de nutrientes y los nutrientes disponibles del suelo pueden conformar un sistema integrado para garantizar los requerimientos nutricionales del cultivo. Dichos requerimientos dependen del potencial de rendimiento del cultivar (20), o más específicamente del rendimiento máximo experimental. Por otro lado, si bien los bioproductos incrementan la eficiencia agronómica de los fertilizantes, cuando los rendimientos máximos son elevados los cultivos tratados con bioproductos pueden requerir una mayor cantidad de fertilizantes que en condiciones de rendimientos máximos más bajos, aunque siempre en cantidades menores a si los bioproductos no estuvieran presentes. Además, la efectividad de estos dependerá tanto del rendimiento máximo experimental como de las dosis de fertilizantes suministradas, ya que estas últimas pueden limitar o inhibir la efectividad de los mismos (21).

Por todo lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la efectividad de la aplicación conjunta de varios bioproductos, en relación con las dosis de fertilizantes y los rendimientos máximos experimentales del maíz cultivado sobre suelos Ferrálíticos Rojos Lixiviados. Esta evaluación busca optimizar el aprovechamiento de estos insumos y servir como base para el desarrollo de tecnologías de producción del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres experimentos durante el periodo 2009-2015 en suelos Ferrálíticos Rojos Lixiviados de acuerdo con la clasificación de suelos descrita (22) equivalentes a Nitisoles Éutricos según el referencial World Reference Bases (23). El primero se realizó en áreas experimentales de la Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita ubicada en el municipio de Bauta, provincia de Artemisa, en las coordenadas 22° 55' N, 82° 22' O,

a una altitud de 50 m. Los dos restantes fueron realizados en áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) localizadas en el municipio de San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, en las coordenadas 22°59' N, 82°08' O, a una altitud de 138 m s.n.m. Las principales características químicas de los suelos se presentan en la [Tabla 1](#).

La interpretación de los resultados del análisis químico se realizó con base en los criterios establecidos ([26](#)), y arrojó lo siguiente: los suelos presentaron pH-H₂O neutro, con contenidos de calcio y magnesio típicos de este tipo de suelo. Los valores de materia orgánica, aunque medios, indicaron un buen estado de conservación bajo condiciones de cultivo continuo y baja altitud. Los contenidos de potasio fueron bajos (0,2 cmol_c kg⁻¹).

Condiciones climáticas

En ambas localidades, el período lluvioso se extiende de mayo a octubre, concentrando entre el 75 y el 80 % de la precipitación anual. El restante 20-25 % ocurre durante el período poco lluvioso, de noviembre a abril. Durante el período lluvioso, la temperatura media diaria osciló entre 25,8 y 27,2 °C, siendo entre 4 y 5,5 °C superior a la registrada en el período poco lluvioso.

La localidad de Nina Bonita se caracteriza por una precipitación media anual de 1258 mm (promedio de 15 años) y 24,2 °C de temperatura media diaria. En el período experimental, que coincide con el período poco lluvioso, las precipitaciones fueron de 230 mm y la temperatura media diaria de 21,1 °C.

En la localidad INCA, la precipitación media anual promedio fue de 1579 mm (serie histórica 1968-2018) aunque 2013 fue un año lluvioso con una precipitación acumulada de 1710 mm y 2015 tuvo una precipitación acumulada ligeramente inferior a la media (86 %). Las temperaturas medias diarias anuales fueron similares entre ambos años con 24,4 °C. Durante el período experimental, que coincide con el período lluvioso las precipitaciones fueron superiores en el año 2013 (1035 mm) que en el 2015 (677 mm), mientras que las temperaturas fueron ligeramente superiores en 2015 (26,2 °C) que en 2013 (25,7 °C).

Tabla 1. Principales características químicas de los suelos Ferrálíticos Rojos Lixiviados al inicio de los experimentos (0-20 cm de profundidad)

Experimentos	pH H ₂ O	MO (g kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Esporas en 50 g
Niña Bonita 2009-10	6,5	32,5	14	9,7	2,2	0,21	0,15	109
INCA 2013	6,8	30,0	175	10,2	2,4	0,65	0,1	55
INCA 2015	6,7	32,0	144	11,5	2,4	0,24	0,10	65

Valores promedios de los diferentes experimentos. En cada experimento se tomaron 8 muestras compuestas de suelo. Determinaciones químicas según el Manual de Técnicas Analíticas ([24](#)): pH-H₂O potenciómetro. MO (materia orgánica) Walkley Black. P extracción con H₂SO₄ 0.05 M.

Cationes intercambiables por extracción con solución NH₄Ac 1 M pH 7 ([24](#)). Esporas micorrízicas por método decantado húmedo ([25](#))

Experimento 1 en la Empresa Pecuaria Genética Niña Bonita

El experimento se desarrolló en el período poco lluvioso, con la siembra el 18/11/2009 y la cosecha el 17/03/2010. Se estudiaron trece tratamientos conformados por una curva de respuesta a la fertilización NPK con cinco tratamientos 0, 25, 50, 75 y 100 % en la cual el 100 % se corresponde con 120, 90 y 117 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O), respectivamente. En presencia de las dosis de 50 % NPK y 75 % NPK se estudiaron las aplicaciones de los bioproductos siguientes: EcoMic® EcoMic®+Biobras-16®, EcoMic®+Fitomas-E® y EcoMic®+Biobras-16®+Fitomas-E® que conforman los 8 tratamientos restantes. El diseño utilizado fue de bloques al azar con cuatro réplicas.

Se utilizó la variedad transgénica FR-BT1 obtenida por el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba, con resistencia al ataque de palomilla (*Spodoptera frugiperda*) y tolerante al glifosato. El marco de plantación utilizado fue de 0,7 m entre surcos y 0,25 m entre plantas. Las parcelas experimentales estuvieron conformadas por 8 surcos de 5,25 m de largo con una superficie de 29,4 m² y un área de cálculo de 17,85 m² (96 plantas). La dosis del 100 % de NPK se garantizó aplicando el equivalente a 450 kg ha⁻¹ de la fórmula 14-20-26 y de 150 kg ha⁻¹ de urea.

Experimento 2 en INCA, San José de las Lajas

El experimento se desarrolló en el período lluvioso, con siembra el 15/6/2013 y cosecha el 1 de octubre del propio año. Se estudiaron trece tratamientos. Los cinco primeros consistieron en una curva de respuesta a la fertilización NPK con los siguientes tratamientos: 0, 50, 75, 100, y 125 %. En presencia de las dosis de 50 y 75 % NPK, se evaluaron los efectos de la aplicación de diferentes combinaciones de bioproductos: EcoMic®; EcoMic® + Fitomas-E®; EcoMic® + Fitomas-E® + Biobras-16® y EcoMic® + Fitomas-E® + Biobras-16® + Quitomax®. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. La dosis 100 % NPK consistió en aplicar 128 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 52 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y 68 kg ha⁻¹ de K₂O.

Se utilizó el híbrido Pioneer 30P49. El marco de plantación utilizado fue de 0,9 m entre surcos y 0,3 m entre plantas.

Las parcelas experimentales constaron de 6 surcos de 6,3 m de longitud con una superficie de 34,02 m² y una superficie de cálculo por parcela de 18,36 m² (68 plantas). La dosis de 100 % de NPK se garantizó aplicando el equivalente a 400 kg ha⁻¹ de la fórmula 9-13-17 y 200 kg ha⁻¹ de urea.

Experimento 3 San José de las Lajas

El experimento se desarrolló en el periodo lluvioso, con siembra el 10/06/2013 y cosecha el 27 de septiembre del propio año. Se estudiaron catorce tratamientos. Cuatro consistían en una curva de respuesta a la fertilización NPK: 0, 50, 75 y 100 %. En este experimento, el Fitomas-E® fue reemplazado por Dimargon® (formulación a base de *Azotobacter chroococcum*). En presencia de la dosis de 50 % NPK, se evaluaron los efectos de la aplicación de diferentes combinaciones de los bioproductos, a saber: EcoMic®; EcoMic® + Quitomax®; EcoMic® + Biobras-16®; EcoMic® + Dimargon®; EcoMic® + Quitomax® + Biobras-16®; EcoMic® + Quitomax® + Dimargon®; EcoMic® + Biobras-16® + Dimargon® y los cuatro bioproductos. También se evaluaron las aplicaciones de los cuatro bioproductos en presencia de las dosis de 75 % NPK y de 75 % NK-50 % P (75 % de N y K, y 50 % de P). El diseño utilizado fue un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Se utilizó la variedad 'Raúl'. El marco de plantación y el tamaño de las parcelas fueron similares a los utilizados en el experimento 2. La dosis del 100 % de NPK se garantizó aplicando el equivalente a 400 kg ha⁻¹ de la fórmula 9-13-17 y 200 kg ha⁻¹ de urea, que equivale a 128 kg ha⁻¹ de N, 52 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 68 kg ha⁻¹ de K₂O. La dosis de 75 % NK-50 % P se preparó aplicando 200 kg ha⁻¹ de 9-13-17, 34 kg ha⁻¹ de 0-0-50 y 170 kg ha⁻¹ de 46-0-0. Las restantes dosis de fertilización fueron porcentajes de las cantidades aplicadas con la dosis de 100 % NPK.

Bioproductos, dosis y formas de aplicar

Inoculante micorrízico. Se utilizó el inoculante comercial EcoMic® a base de *Glomus cubense* (Y. Rodr. & Dalpé) /INCAM-4, DAOM241198/, con un mínimo de 20 esporas g⁻¹ y cantidades no determinadas de raicillas y micelio. Se aplicó vía recubrimiento de las semillas, previamente humedecidas con agua, en cantidades de 2 kg de EcoMic® cada 25 kg de semilla (27).

Bioestimulante Fitomas-E®. Se utilizó el producto comercial, a base de oligosacáridos y bases nitrogenadas en formulación líquida. Se aplicó vía aspersión foliar en dos momentos. En cada uno con dosis 1 L ha⁻¹ asperjado a los 25 y a los 45 días después de la siembra (dds) en aplicaciones de alto volumen, equivalentes a 200 L ha⁻¹ (8).

Bioestimulante Biobras-16®. A base de análogos de brasinoesteroides en formulación líquida. Se preparó en el Centro de Productos Naturales de la Universidad de la Habana. Se aplicó vía aspersión foliar en dos momentos a los 25 y 45 días de sembrado el frijol (dds). En cada momento se aplicó el equivalente a 20 mg ha⁻¹ (8), disueltos en agua para aplicaciones de alto volumen.

Bioestimulante Quitomax®. A base de quitosanos en formulación líquida. Se preparó en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Se aplicó vía aspersión foliar, en dos momentos a los 25 y 45 días. En cada momento se aplicó el equivalente a 200 mg ha⁻¹ disueltas en 200 L de agua, para asperjar una hectárea en aplicaciones de alto volumen (8).

En función de los tratamientos, los bioproductos que se aplicaron vía foliar se hicieron de conjunto en la misma aspersión.

Bioproducto Dimargon®. A base de *Azotobacter chroococcum* con un título de 10¹⁰ UFC. Se preparó en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT). Se aplicó por aspersión al suelo en la siembra a una dosis equivalente de 2 L ha⁻¹ y se diluyó en agua 1/10 (v/v) (8).

Fertilización y riego

Las cantidades correspondientes a las fórmulas (NPK), así como el portador potásico cuando correspondió, se aplicaron al inicio en el fondo del surco. Las cantidades suplementarias de nitrógeno se aplicaron como urea en bandas 30 días después de la siembra y se incorporaron a los primeros 10 cm de profundidad del suelo con una azada. En la época poco lluviosa para el cultivo del maíz, se aplicó una norma de riego de 350 m³ ha⁻¹ cada siete días hasta la formación de la mazorca, después se incrementó a 400 m³ ha⁻¹ y entre los 80 y 100 días se suspendió para la maduración del grano. En la época lluviosa el riego se aplicó con similares criterios, cuando las precipitaciones no igualaron las normas de aplicación.

Evaluaciones

Análisis de suelos. Al inicio de cada experimento y en cada réplica se tomaron dos muestras compuestas, cada una de 10 submuestras tomadas aleatoriamente en la profundidad de 0-20 cm. En cada muestra se realizaron las determinaciones planteadas en la tabla 1. Los métodos empleados fueron los establecidos en el Manual de técnicas analíticas (24), para las siguientes determinaciones: pH en agua, materia orgánica por el método de Walkley-Black, fósforo disponible mediante extracción con H₂SO₄ 0,05 M, y cationes intercambiables extraídos con NH₄Ac 1 M a pH 7.

Esporas de hongos micorrízicos arbustulares. Se evaluaron al inicio aprovechando el muestreo inicial del suelo. Para la extracción de esporas se realizó una modificación del método de tamizado en húmedo según el protocolo utilizado (25). Las esporas se contaron bajo un microscopio estereoscópico y se expresaron como esporas en 50 g de suelo.

Cosecha. En todos los experimentos, la cosecha se realizó en el área de cálculo de cada parcela: a los 120 días después de la siembra (dds) en el periodo poco lluvioso, y entre 110 y 115 dds en el periodo lluvioso. Las mazorcas cosechadas fueron procesadas, y el rendimiento se expresó en toneladas por hectárea (t ha⁻¹) de grano al 14 % de humedad.

Análisis estadísticos

Se verificaron en cada caso los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por Levene y Kolmogorov-Smirnov. Con posterioridad se realizaron los ANOVA correspondientes y siempre que las diferencias entre los rendimientos fueron significativas, estos se docimaron de acuerdo con el test de Duncan a $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Experimento 1

El maíz respondió positivamente ($p \leq 0,05$) a la fertilización NPK (Figura 1) y ya con el 75 % NPK se alcanzó un rendimiento cercano a 4 t ha^{-1} similar al obtenido al aplicar la dosis de 100 % NPK. En presencia de la dosis de 50 % NPK, el maíz respondió significativamente a la aplicación del inoculante micorrízico, con incrementos del rendimiento del 32 % con relación al homólogo no inoculado y rendimientos similares a los mayores obtenidos por la fertilización mineral (100 % NPK).

La aplicación conjunta con brasinoesteroides no se diferenció significativamente del rendimiento obtenido con EcoMic®, pero la aplicación adicional de FitoMas-E® y con ello de tres bioproductos alcanzó los mayores rendimientos experimentales del orden de 4,5 t ha^{-1} , superiores ($p \leq 0,05$) a los obtenidos con la aplicación de EcoMic® y a los mayores obtenidos con la fertilización mineral.

En presencia de la aplicación del 75 % NPK no se encontró una respuesta significativa a la aplicación del inoculante micorrízico. Tampoco se encontró respuesta a las combinaciones de bioproductos y los diferentes tratamientos presentaron rendimientos similares ($p \leq 0,05$) a los obtenidos al aplicar el homólogo no inoculado. Si bien la aplicación de los tres bioproductos en presencia de la fertilización con 75 % NPK presentó un rendimiento similar ($p \leq 0,05$) al obtenido al aplicar esos bioproductos en presencia del 50 % NPK, fue menos eficiente al requerir mayores cantidades de fertilizantes.

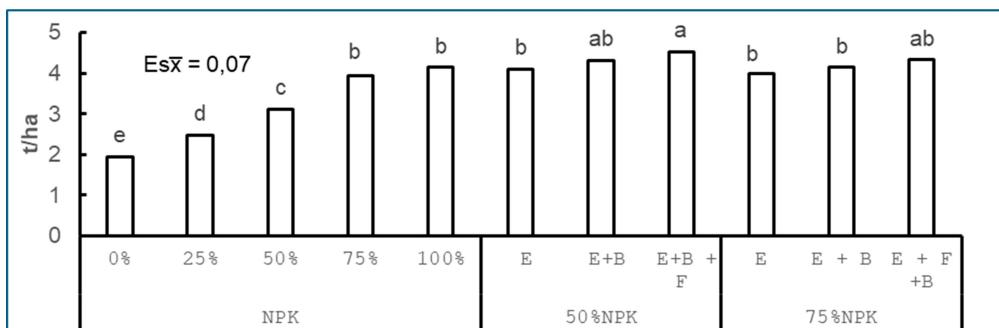
Experimento 2

Se encontró también una respuesta positiva ($p \leq 0,05$) a la fertilización mineral NPK y con la dosis de 75 % NPK se alcanzaron rendimientos de 4,4 t ha^{-1} (figura 2), superiores a los obtenidos con las dosis inferiores y que no difirieron de los obtenidos con las dosis mayores de fertilizantes. La aplicación del inoculante micorrízico presentó una respuesta positiva ($p \leq 0,05$) en presencia de la dosis de 50 % NPK con incrementos en el rendimiento de 13 % con relación al homólogo no inoculado y valores similares a los máximos alcanzados con la fertilización mineral. Las diferentes combinaciones de bioproductos en presencia de la dosis de 50 % NPK no incrementaron significativamente los rendimientos en relación con la aplicación de EcoMic®.

En presencia de la dosis de 75 % NPK la aplicación de EcoMic® no presentó una respuesta significativa ($p \leq 0,05$) con relación al homólogo no inoculado, ni tampoco se diferenció del rendimiento obtenido al aplicar EcoMic® en presencia del 50 % NPK. No obstante, las diferentes combinaciones de bioproductos si presentaron rendimientos superiores con relación a los obtenidos con el tratamiento homólogo no inoculado (75 % NPK). Los mayores rendimientos experimentales se alcanzaron con la aplicación de los cuatro bioproductos del orden de 5,17 t ha^{-1} que fueron mayores ($p \leq 0,05$) a los alcanzados con la inoculación micorrízica, superiores en 18 % a los obtenidos con la dosis de 75 % NPK y mayores que los obtenidos con las dosis superiores de fertilizantes. Asimismo, con dicho tratamiento los rendimientos fueron superiores ($p \leq 0,05$) a los obtenidos al aplicar los bioproductos en presencia de la dosis de 50 % NPK. Como aspecto interesante, los mayores rendimientos en este experimento fueron superiores en 14 % a los mayores obtenidos en el experimento 1.

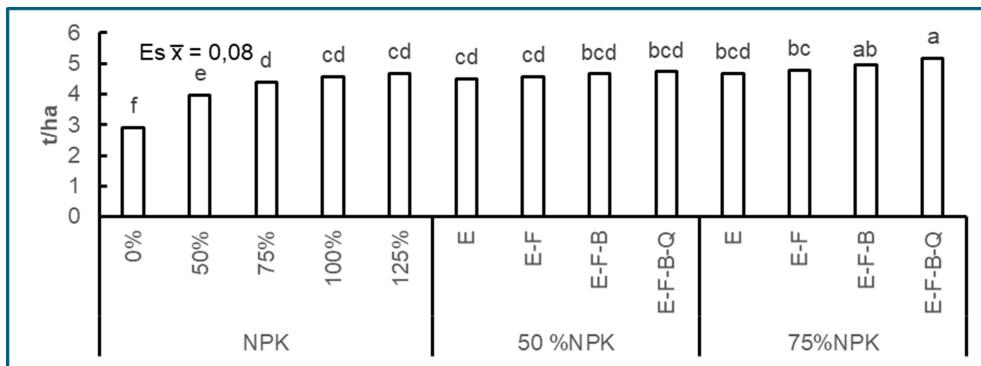
Experimento 3

Se obtuvo asimismo una respuesta creciente y significativa ($p \leq 0,05$) a la fertilización mineral (Figura 3) aunque con rendimientos inferiores a los obtenidos en los anteriores experimentos y en este caso del orden de 3,45 t ha^{-1} .



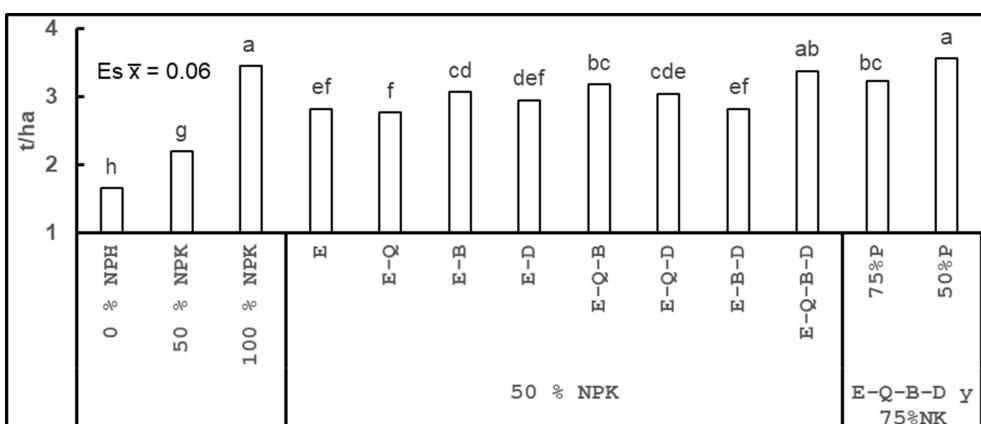
Letras diferentes implican diferencias significativas a $p \leq 0,05$. E (EcoMic®-G. *cubense*/INCAM-4); B (Biobras-16®); F (Fitomas-E®). 100 % NPK (120, 90 y 117 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente)

Figura 1. Efecto de combinaciones de bioproductos en presencia de dos dosis de fertilizantes NPK y curva de respuesta a la fertilización NPK en el maíz FR-BT1, sobre suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, Empresa Niña Bonita, nov. 2009 - mar. 2010



Letras diferentes implican diferencias significativas a $p \leq 0.05$. E (EcoMic®-*G. cubense*/INCAM-4); F (Fitomas-E®); B (Biobras-16®); Q (Quitomax®). 100 % NPK (128 kg ha⁻¹ de N, 52 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 68 kg ha⁻¹ de K₂O)

Figura 2. Efectos de aplicaciones de diferentes bioproductos y dosis de fertilizantes en el cultivo del maíz híbrido Pioneer 30P49 en suelo Ferrallítico Rojo Lixiviado, San José de las Lajas, jun - oct. 2013



Letras diferentes implican diferencias significativas a $p \leq 0.05$. Fecha de siembra 10/06/2015. 100 % NPK: 128 kg ha⁻¹ N, 52 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 68 kg ha⁻¹ K₂O. E (EcoMic®-*G. cubense*/INCAM-4); Q (Quitomax®); B (Biobras-16®); D (Dimargon)

Figura 3. Efectos de aplicaciones de diferentes bioproductos y dosis de fertilizantes en el cultivo del maíz 'Raul' en suelo Ferrallítico Rojo, San José de las Lajas, jun. - sept. 2015

En presencia de la fertilización del 50 % NPK, el maíz respondió significativamente a la inoculación con EcoMic®, con incrementos en rendimiento del 28 % en relación con el tratamiento homólogo no inoculado. La aplicación adicional de Biobras-16® incrementó el rendimiento en un 40 % con relación a la dosis de 50 % NPK, aunque con un rendimiento inferior al obtenido al aplicar el 100 % NPK. Las restantes combinaciones de bioproductos no presentaron un efecto beneficioso con relación a la combinación EcoMic® + Biobras-16®, con excepción de la aplicación combinada de los cuatro bioproductos con la cual se alcanzaron los mayores rendimientos y similares a los obtenidos al aplicar la dosis de 100 % NPK.

Al utilizar la dosis de 75 % NPK la aplicación de los cuatro bioproductos no presentó rendimientos superiores a los obtenidos en presencia de la dosis de 50 % NPK; sin embargo, al disminuir el P a 50 % los rendimientos se incrementaron significativamente. No obstante, el rendimiento de este último tratamiento no fue superior a la aplicación de los cuatro bioproductos en presencia del 50 % NPK.

DISCUSIÓN

La respuesta positiva a la inoculación con EcoMic®/INCAM-4 se ha encontrado en diferentes cultivos en suelos cuyo rango de pH-H₂O se encuentre entre 5,8 y 7,2 garantizando rendimientos altos con menores dosis de fertilizantes minerales (3) y explicable en los incrementos en la capacidad de absorción de nutrientes del suelo y los fertilizantes por las plantas micorrizadas eficientemente. Los efectos beneficiosos o positivos de las diferentes combinaciones de EcoMic®+Biobras-16® con Fitomas-E®, Quitomax® y Dimargon® en que se obtuvieron rendimientos altos con menores dosis de fertilizantes y que a la vez superaron los resultados anteriormente reportados con las aplicaciones simples de EcoMic® (3), o las combinaciones de EcoMic® + Biobras-16® (16), de EcoMic® + Fitomas-E® (19) y de EcoMic® + Quitomax® (28) corroboran que estos bioproductos presentan mecanismos complementarios y que por tanto su aplicación combinada incluyendo hasta cuatro bioproductos resulta efectiva.

Como no siempre se estudiaron los mismos bioproductos, no se puede establecer si alguna de las combinaciones de cuatro bioproductos resulta más efectiva que otra,

Sin embargo, si quedó establecido el efecto positivo con las diferentes combinaciones estudiadas, que siempre incluyeron la aplicación de EcoMic® y Biobras-16® y en dos de los tres experimentos incluyeron además el Fitomas-E® y el Quitomax®. Asimismo, si bien la aplicación de los bioproductos conllevó a incrementos en la eficiencia de la fertilización, al obtenerse mayores rendimientos con menores dosis de fertilizantes, quedó establecido como las necesidades de fertilizantes se incrementan al ser mayores los rendimientos máximos experimentales.

Este comportamiento es similar al observado en las relaciones entre dosis de fertilizantes y rendimientos máximos experimentales en presencia de inoculantes micorrízicos en distintos cultivos (3), así como en aplicaciones de varios de estos bioproductos en frijol (21). Es indicativo de que, con la participación de los bioproductos en la nutrición del cultivo, se garantiza una determinada cantidad de nutrientes, dependiente de los productos que integren la combinación aplicada. Cuando las condiciones favorecen mayores rendimientos y, por ende, aumentan los requerimientos nutricionales del cultivo, debe incrementarse el suministro de nutrientes, lo cual además permite alcanzar la mayor efectividad en la aplicación de los bioproductos. No obstante, dicho suministro siempre será menor que el requerido en ausencia de bioproductos.

En presencia de la aplicación combinada de bioproductos el incremento en rendimiento al disminuir la dosis de P de 75 % NPK a 75 % NK-50 % P en suelos con alto contenido de P disponible parece explicable en la reconocida disminución de la efectividad de la simbiosis micorrízica ante un suministro elevado de fosforo, la cual ha sido fundamentado ampliamente (29, 30), y encontrada también en el país con este mismo inoculante (31). Incluso esta situación podría estar presente también en el experimento 2 en el que en condiciones de un alto rendimiento máximo experimental no se encontró respuesta a la inoculación micorrízica en presencia de la dosis de 75 % NPK, pero sí se incrementó el rendimiento al combinarla con los otros bioproductos.

En resumen, aunque bajo condiciones de alto rendimiento máximo experimental se observó una respuesta positiva a la aplicación de los cuatro bioproductos en presencia del 75 % NPK, los resultados sugieren que en suelos con contenidos altos de P disponible el suministro de este nutriente se debe mantener en 50 % P. Esta estrategia permite alcanzar rendimientos elevados sin necesidad de incrementar la dosis de fertilizante fosfórico.

Resulta de alta importancia práctica que aun cuando los rendimientos máximos experimentales oscilen entre 3 y 5 t ha⁻¹ la aplicación combinada de cuatro bioproductos en presencia del 50 % de la fertilización NPK, haya permitido alcanzar rendimientos similares al manejo tradicional de la nutrición basado en dosis altas del 100 % NPK. Es decir, aunque para rendimientos del orden de 5 t ha⁻¹ sea preferible aplicar el 75 % NK-50 % P de conjunto con los bioproductos, ello no invalida la utilidad agronómica de 50 % NPK.

Esta alternativa resulta especialmente relevante en el contexto nacional, donde la disponibilidad de fertilizantes es limitada y la ausencia de otros insumos puede comprometer los rendimientos esperados. En tales condiciones, los rendimientos tienden a ubicarse en rangos donde resulta más apropiado recomendar la aplicación del 50 % NPK junto con bioproductos.

CONCLUSIONES

- El maíz respondió positivamente a las aplicaciones combinadas de los bioproductos estudiados, requiriendo dosis menores de fertilizantes para alcanzar rendimientos iguales o superiores a los obtenidos cuando solo se aplicaron fertilizantes minerales. Cuando los rendimientos máximos experimentales se encuentran entre 3,5 y 4 t ha⁻¹ las aplicaciones de bioproductos permiten reducir la fertilización a un 50 % de la dosis recomendada (100 % NPK). En condiciones de mayor rendimiento (hasta 5 t ha⁻¹), los requerimientos de fertilizantes aumentan hasta 75 % NPK.
- En relación con el fósforo y en suelos con altos valores de fosforo disponible la aplicación del 75 % P disminuye el rendimiento de las aplicaciones combinadas de bioproductos por lo que debe mantenerse en 50 % P. La aplicación de los bioproductos en presencia del 50 % de la fertilización NPK siempre alcanzó rendimientos similares a los obtenidos con 100 % NPK.

BIBLIOGRAFÍA

1. Oficina Nacional de Estadísticas e Información. *Anuario estadístico de Cuba 2022*. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca (Capítulo 9). Oficina Nacional de Estadísticas e Información. 2023. Available from: <http://onei.gob.cu/anuario-estadistico-de-Cuba-2022>
2. Dibut Álvarez B, Martínez Viera R, Hernández Barrueta G, López Gutiérrez M, Martínez Cruz A, Bach Álvarez T, Rivera Espinosa R, Hernández Rodríguez A, Fernández Martín F, Medina Basso N, Herrera Peraza R. Surgimiento y desarrollo en Cuba de la red de producción de biofertilizantes y bioestimuladores. Agrotecnia de Cuba. 2011; 35 (1): 61-72. Available from: <https://agrotecnia.edicionescervantes.com/index.php/agrotecnia/article/view/433>
3. Rivera R, González P J, Ruiz-Martínez L, Martín G, Cabrera A. Strategic Combination of Mycorrhizal Inoculants, Fertilizers, and Green Manures Improve Crop Productivity. Review of Cuban Research. In Qiang-Sheng Wu, Ying-Ning Zou, Yue-Jun He, Nong Zhou, editors. "New Research on Mycorrhizal Fungus". Nova Publishers, USA. 2023. (eBook). Available from: Doi: <http://doi.org/10.52305/GLXN2905>
4. Morales-Mena B, Hernández-Forte I, Nápoles-García M C. Estabilidad microbiológica de los biofertilizantes Azofert®-F y Azofert®-S. Cultivos Tropicales. 2023; 44(3). <https://cu-id.com/2050/v44n3e03>. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1734>

5. Falcón Rodríguez A B, Costales Menéndez D, González-Peña Fundora D, Nápoles García M C. Nuevos productos naturales para la agricultura: Las oligosacáginas. *Cultivos Tropicales*. 2015; 36(5 Esp), 111-129. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1128Cul.tivos>
6. Salazar S M, Coll Y, Viejobueno J, Coll F. Response of strawberry plants to the application of brassinosteroid under field conditions. *Rev. Agron. Noroeste Argent.* 2016; 36 (1): 37-41. Available from: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/5238>
7. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Decreto-ley 64 "De la producción, desarrollo y uso de los biofertilizantes, bioestimulantes y bioplaguicidas de uso agrícola". GOC-2023-515-O53. Available from: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-53-ordinaria-de-2023>.
8. Departamento de Suelos y Fertilizantes. (2020). Manual práctico para uso de bioproductos y fertilizantes líquidos. Ministerio de la Agricultura de Cuba. Available from: https://es.scribd.com/document/501110234/Manual_Biofertilizantes_y_Fertilizantes_Líquidos_V_10-1-2020 | PDF | Fertilizante | Siembra
9. Shi J, Wang X, Wang E. Mycorrhizal symbiosis in plant growth and stress adaptation: from genes to ecosystems. *Annual Review of Plant Biology*. 2023; 74: 569-607. Available from: <https://doi.org/10.1146/annurev-aplant-061722-090342>
10. Fiorilli V, Martinez-Medina A, Pozo M J, Lanfranco L. Plant immunity modulation in arbuscular mycorrhizal symbiosis and its impact on pathogens and pests. *Annual Review of Phytopathology*. 2024; 62(1):127-56. Available from: Doi <https://doi.org/10.1146/annrev-phyto-121423-042014>
11. Kasanke S A, Cheeke T E, Moran J J, Roley S S. Tripartite interactions among free-living, N-fixing bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi, and plants: Mutualistic benefits and community response to co-inoculation. *Soil Science Society of America Journal*. 2024; 88: 1000-13. Available from: <https://doi.org/10.1002/saj2.20679>
12. Wang Q, Li S, Li J, Huang D. The utilization and roles of nitrogen in plants. *Forests*. 2024; 15, 1191. Available from: <https://doi.org/10.3390/f15071191>
13. Bertsch F. Absorción de nutrientes por los cultivos. 1 era edición, San José, C.R. ACCS; 2003. Available from: https://books.google.com/books/about/Absorci%C3%B3n_de_nutrientes_por_los_cultiv.html?id=by_FAAAACAAJ
14. Reinprecht Y, Schram L, Marsolais F, Smith T H, Hill B, Pauls K P. Effects of Nitrogen Application on Nitrogen Fixation in Common Bean Production. *Front. Plant Sci.* 2020; 11:1172. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172>
15. Antil R S, Raj D. Integrated nutrient management for sustainable crop production and improving soil health. In R. S. Meena (Ed.), *Nutrient dynamics for sustainable crop production* 2020: 67-101. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_3.
16. Corbera J G, Nápoles M C. Efecto de la inoculación conjunta *Bradyrhizobium elkanii*-Hongos MA y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar INCASOY-27. *Cultivos Tropicales*. 2013; 34(2): 5-11. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/418>
17. Gonzalez-Cañizares P J, Ramirez-Pedroso J, Rosseaux R, Rivera R. Biofertilización con *Gluconacetobacter diazotrophicus* y *Funneliformis mosseae* en pasto guinea (*Megathyrsus maximus* vc. Likoni). Nota técnica. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2022; 56(3): 201-6. Available from: <https://cjasscience.com/index.php/CJAS/article/view/1059/1419>
18. González-Cañizares, P. J., Méndez-Bonet, S., Reyes-Rouseaux, R., Rivera-Espinosa, R., & Hernández-Jiménez, A. Integrated management of the fertilization for *Tithonia diversifolia* forage production. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2024; 58. Available from: <https://cjasscience.com/index.php/CJAS/article/view/1146>
19. Morejón-Pereda M, Herrera-Altuve J A, Ayra-Pardo C, González-Cañizares P J, Rivera-Espinosa R, Fernández-Parla Y, Peña-Ramírez E, Rodríguez P, Rodríguez-de la Noval C, de la Noval-Pons B. Alternatives in the nutrition of transgenic maize FR-Bt1 (*Zea mays* L.): response in growth, development, and production. *Cultivos Tropicales*. 2017; 38(4), 146-55. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1414>.
20. Witt C, Buresh R J, Peng S, Balasubramanian V, Doberman A. Nutrient Management. In: T. Fairhurst; C. Witt; R. Buresh, A. Doberman, editors. *Rice: A practical guide to nutrient management*. 2nd Ed. International Rice Research Institute, International Plant Nutrition Institute, and International Potash Institute. 2007. Available from: <https://www.ipipotash.org/publications/publication-229>
21. Rivera R, Cabrera Rodriguez A, Martin Alonso G M, Fundora Sanchez L R. Bioproductos y fertilización NPK en el frijol cultivado sobre suelos Ferralsíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*. 2025; 46 (3). Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1881>
22. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba: Ediciones INCA. 2015. Available from: <https://isbn.cloud/9789597023777/clasificacion-de-los-suelos-de-cuba-2015/>
23. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources*. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 2022. Available from: https://wrb.isric.org/documents/WRB_fourth_edition_2022-12-18.pdf
24. Paneque V M, Calaña J M, Calderón M, Borges Y, Hernández T C, Caruncho C M. *Manual de Técnicas analíticas para Análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos* Ediciones Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Mayabeque, Cuba. 2010. Available from: https://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/folleto_suelos.pdf
25. Torres-Arias Y, Ortega-Fors R, González González S, Furrazola Gómez E. Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares (*Glomeromycota*) en bosques semicaducífolios de la Ciénaga de Zapata, Cuba. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*. 2015; 36: 195-200. Available from: <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/view/7082>

26. MINAG. 1984. Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, Cuba: 136 p.
27. Rivera R, Fernández Martín F, Ruiz Martínez L, González Cañizares P J, Rodríguez Yon Y, Pérez Ortega E, Fernández Suarez K, Martín Alonso G M, Simó González J, Sánchez Esmoris C, Riera Nelson M, de la Noval Pons B, et al. Lara Franqui D. Manejo, integración y beneficios del biofertilizante micorrízico EcoMic® en la producción agrícola. Ediciones Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba; 2020. Available from: https://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/del_biofertilizante_micorrízico.pdf
28. Rivera R, Martín G, Pérez A, González P J, Ramírez J, García-Rubido M, Ruiz M, Espinosa A, Reyes R, Fundora L R, Delgado A, Alarcón M, Wencomo H, et al. Establecimiento de un sistema para uso del biofertilizante micorrízico EcoMic® y otros bioproductos en la producción de alimentos. Informe Técnico Final del Proyecto FONCI 24-2018. 2020; 31 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20798.51527>
29. Lanfranco L, Bonfante P. The need for phosphate: at the root of the mycorrhizal symbiosis. *Sci Bull (Pekín)*. 2022; 67(5):459-460. Available from: doi: 10.1016/j.scib.2021.11.018
30. Zhao B, Jia X, Yu N, Murray J D, Yi K, Wang E. Microbe-dependent and independent nitrogen and phosphate acquisition and regulation in plants. *New Phytol*. 2024; 242: 1507-22. Available from: <https://doi.org/10.1111/nph.19263>
31. González Cañizares P J, Ramírez Pedrosa J F, Morgan Rosemond O, Rivera Espinosa R, Plana Llerena R. Contribución de la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales*. 2015; 36 (1) :135 -42. Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/952>.