

AGROPECUARIA

BIOFERTILIZANTES Y ABONOS ORGÁNICOS COMO ESTRATEGIAS SOSTENIBLES EN LOS AGROECOSISTEMAS DE MAÍZ

BIOFERTILIZERS AND ORGANIC FERTILIZERS AS SUSTAINABLE STRATEGIES IN CORN AGROECOSYSTEMS

Autores:

Pita, Diana¹

ORCID: 0009-0002-8415-739X

Pita, Nora¹

ORCID: 0009-0001-5961-7035

Rossy, Peñaloza²

ORCID: 0009-0006-3560-3727

Alexis, Valery²

ORCID: 0000-0003-2094-5418

Sánchez, Luberto^{2*}

ORCID: 0000-0002-1737-3909

¹ Egresada Universidad Nacional Experimental del Táchira.² Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental. Decanato de Investigación. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

*Corresponding Author: lasanchez@unet.edu.ve

RESUMEN

Actualmente se utilizan altas cantidades de fertilizantes sintéticos en los sistemas productivos convencionales, lo que genera contaminación al ambiente y los suelos. Por esta razón, se evaluó en un agroecosistema el efecto de la biofertilización y el abono orgánico, como estrategias sostenibles sobre el crecimiento de la planta y la producción del maíz (*Zea mays* L.). El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Producción "El Playón", ubicada en Capacho Nuevo, Municipio Independencia, Estado Táchira. Venezuela. Se utilizó un diseño unifactorial, con un total de cinco (5) tratamientos: T0 (Testigo), T1 (Fertilización sintética), T2 (Biofertilizante), T3 (Abono orgánico) y T4 (Biofertilizante y abono orgánico); cada tratamiento con 10 repeticiones. Los indicadores evaluados en la planta y en la mazorca de maíz fueron: altura de la planta, número de hojas, diámetro y longitud de la mazorca, número de hileras, número de granos por hilera y peso total de la mazorca. Finalmente, se determinó la eficiencia agronómica relativa (EAR) del biofertilizante y del abono orgánico en la producción del maíz. Los resultados indicaron que el tratamiento T4 (Biofertilizante y abono orgánico), incrementó significativamente todas las variables de la planta y de la mazorca de maíz, en comparación con el T0 (Testigo). Así mismo, la EAR del T4 alcanzó el rendimiento relativo más alto con 224%, seguido por el T3 con un 158%. Estos resultados indican el efecto positivo del biofertilizante compuesto por (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.), junto al abono orgánico proveniente del estiércol de ganado, como estrategias sostenibles para un agroecosistema de maíz.

ABSTRACT

Currently, high amounts of synthetic fertilizers are used in conventional production systems, which generates contamination to the environment and soils. For this reason, the effect of biofertilization and organic fertilizer was evaluated in an agroecosystem, as sustainable strategies on plant growth and production of corn (*Zea mays* L.). The experiment was carried out at the "El Playón" Production Unit, located in Capacho Nuevo, Independencia Municipality, Táchira, Venezuela. A unifactorial design was used, with a total of five (5) treatments: T0 (Control), T1 (Synthetic fertilization), T2 (Biofertilizer), T3 (Organic fertilizer) and T4 (Biofertilizer and organic fertilizer); each treatment with 10 replicates. The indicators evaluated in the corn plant and cob were: plant height, number of leaves, diameter and length of the cob, number of rows, number of kernels per row, and total cob weight. Finally, the relative agronomic efficiency (RAE) of the biofertilizer and organic fertilizer in corn production was determined. The results indicated that treatment T4 (biofertilizer and organic fertilizer) significantly increased all variables of the corn plant and cob, compared to treatment T0 (control). Likewise, the EAR of T4 achieved the highest relative yield, at 224%, followed by T3, at 158%. These results indicate the positive effect of the biofertilizer composed of *Penicillium* sp. and *Trichoderma* sp., along with organic fertilizer from livestock manure, as sustainable strategies for a corn agroecosystem.

Palabras clave: Bioinoculantes, planta, sostenibilidad, estiércol de ganado.

Key words: Bioinoculants, plants, sustainability, livestock manure.

Recibido: 21/04/2025

Aprobado: 23/09/2025

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es el tercer cultivo agrícola más importante del mundo después del trigo y del arroz. Según la FAO (2020), este cultivo está presente en más de 170 países y para el 2018, ya superaba los 200 millones de hectáreas cosechadas. Es una planta que se adapta a diversas condiciones edafoclimáticas y constituye un alimento básico para millones de personas, especialmente en América Latina. Por lo cual se considera un producto de consumo masivo, al utilizarse como materia prima (estado lechoso y grano seco) en la elaboración de diferentes platos típicos (Ortigoza *et al.*, 2019), y en alimentación animal a través de forraje verde o ensilaje (Ávalos *et al.*, 2018).

La producción mundial de maíz suele basarse en un proceso de gestión agrícola que emplea técnicas convencionales. Aunque estas pueden lograr la rentabilidad esperada en ciertos casos, también pueden afectar negativamente indicadores clave como el manejo del suelo y la nutrición del cultivo, debido principalmente al uso inadecuado de fertilizantes sintéticos. (González 2019). Según Díaz-Chuquizuta *et al.*, (2022), el uso inadecuado de los fertilizantes sintéticos comprende principalmente prácticas agronómicas incorrectas como la fertilización excesiva (dosis muy altas). De igual manera, prácticas de manejo del suelo inapropiadas han ocasionado tanto compactación como desequilibrios en su microbiología y pérdida de nutrientes, lo que contribuye a la degradación y disminución de la productividad de los cultivos agrícolas. Según Escalona *et al.*, (2021), señalan que la aplicación indiscriminada de fertilizantes, sin seguir criterios técnicos, contribuye a la salinización de los suelos, uno de los problemas más graves asociados a la agricultura convencional.

Todas estas contrariedades generadas por la utilización de fertilizantes sintéticos en los ecosistemas agrícolas convencionales, sumados al alto costo económico de estos productos, han conducido a la búsqueda de fuentes alternativas de fertilización bajo estrategias sostenibles, que

permita encontrar una armonía entre la producción de alimentos y el ambiente (Beltrán y Bernal 2022). Los biofertilizantes y los abonos orgánicos son productos utilizados en los agroecosistemas gerenciados con estrategias sostenibles, que buscan un equilibrio entre las dimensiones social, económica y ambiental. En este sentido, los abonos orgánicos son productos que al incorporarse al suelo mejoran la estructura y la diversidad biológica, por lo tanto, aumenta la productividad del agroecosistema (Ávalos *et al.*, 2018). Todo ello es posible debido a que, los abonos orgánicos, como el estiércol de ganado contiene compuestos de fácil descomposición, que al adicionarse al suelo resulta en un aumento en la actividad biológica, disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, así como una respuesta favorable en la velocidad de infiltración y retención de agua en el suelo (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2022).

Es fundamental mencionar que los biofertilizantes son productos a base de microorganismos rizosféricos benéficos, que representan un componente valioso para los agroecosistemas sostenibles, son económicamente atractivos y ecológicamente aceptables como herramientas biotecnológicas para mejorar la nutrición de los cultivos agrícolas, puesto que, estos microorganismos aislados previamente del suelo y caracterizados debidamente, tienen diferentes funciones en la agricultura como la fijación biológica del nitrógeno, la disolución del fósforo en el suelo (Flores *et al.*, 2021), y la protección del cultivo a enfermedades (Sánchez *et al.*, 2015; González *et al.*, 2021).

Diferentes investigaciones a través de ensayos en campo, han permitido observar la importancia y la respuesta positiva, del uso de los abonos orgánicos y los biofertilizantes como, estrategias sostenibles en los agroecosistemas de maíz. En este sentido, Martínez *et al.*, (2018) demostraron que, al utilizar algún tipo de biofertilizante, existe un efecto positivo sobre indicadores de crecimiento y de rendimiento del cultivo de maíz. Así mismo, se ha reportado que la

aplicación de estiércol líquido de bovino en maíz ha aumentado significativamente ($P < 0,05$) diferentes variables como, la longitud de la mazorca, el número de granos por hilera y el rendimiento de grano, en comparación al tratamiento testigo, lo que permitió observar que el estiércol impactó positivamente sobre el rendimiento del maíz con un incremento de 30 %, respecto al testigo (Díaz-Chuquizuta *et al.*, 2022).

Similarmente, Ávalos *et al.*, (2018) evaluaron en el cultivo de maíz con fines forrajeros, la aplicación de un biofertilizante en consorcio microbiano (*Bacillus*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Rhodobacter*, *Streptococcus*, *Rhodoseudomonas* y *Saccharomyces*), y la aplicación de diferentes abonos orgánicos (estiércol y vermicompost); en dicha investigación se encontró que, el biofertilizante incrementó algunos indicadores del suelo como la materia orgánica, el nitrógeno y el fósforo disponible, permitiendo concluir que la inoculación microbiana promovió la mineralización de los abonos orgánicos y de la materia orgánica nativa del suelo. Adicionalmente, se observó que el estiércol fue el único abono orgánico que aumentó el rendimiento del maíz en un 9,6 %, en relación al testigo. Es relevante mencionar que, la aplicación de estiércol puede promover rendimientos de forrajes de maíz similar o superior al uso de fertilizantes sintéticos. Lo que indica que es factible realizar una transición de los sistemas agrícolas convencionales a los ecosistemas agrícolas sostenibles, cuyo potencial es sustituir los insumos externos y promover procesos naturales que mejoren la fertilidad natural del suelo, favoreciendo así la productividad del agroecosistema con un enfoque holístico.

Por ello, el objetivo del presente estudio fue establecer un experimento para evaluar el efecto de diferentes insumos naturales, biofertilizantes y abonos orgánicos, como estrategias sostenibles en un agroecosistema de maíz.

MÉTODO

Ubicación del experimento

Se realizó en una parcela experimental de la Unidad de Producción “El Playón”, ubicada en Capacho Nuevo, Municipio Independencia, estado. Táchira, Venezuela. La cual se encuentra a una altitud de 1290 msnm y el análisis de suelo reportó textura franca, materia orgánica 6,2 %, fósforo 9 mg.kg⁻¹, potasio 251 mg.kg⁻¹ y pH 6,7.

Materiales utilizados en la investigación

El material vegetal utilizado fue plantas de maíz amarillo (Híbrido Dekalb). El biofertilizante evaluado fue un consorcio microbiano constituido por *Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp., procedente del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental (GIBAA) de la UNET. Finalmente, se utilizó un abono orgánico de estiércol de ganado descompuesto, procedente de la U. P. “La Penca”, ubicada Capacho Nuevo.

Actividades generales realizadas en el agroecosistema de maíz

Preparación del terreno: consistió en acondicionar la parcela experimental para establecer el experimento, en este sentido, primero se realizó un pase de guadaña para bajar el porte de la vegetación en la parcela experimental. Seguidamente, se realizaron dos pases de arado con bueyes, con la finalidad de preparar los primeros 30 cm de suelo para la siembra de la semilla de maíz. Finalmente, se realizó el trazado de los surcos de manera manual con azadón, a una distancia de 1 m entre cada uno.

Siembra del maíz: se realizó de forma manual sobre cada surco y consistió en colocar una semilla por punto. Se consideró una distancia de 0,4 m entre punto de siembra y 1 m entre hilera, lo que garantizó una densidad poblacional 25000 plantas por hectárea, parámetro considerado en la zona para producción de maíz en estado lechoso.

Suministro de riego y otras labores: el tipo de riego utilizado en el agroecosistema fue por aspersión, y se programó con una frecuencia de 3 veces por semana, dependiendo de las condiciones de humedad en la parcela. El manejo de plantas no deseadas (arvenses) se efectuó de forma manual con el apoyo de un azadón, y fue realizado con una frecuencia de 15 días durante los dos primeros meses de establecido el cultivo del maíz. Por último, se realizó observación constante en el experimento (cada 7 días), para detectar la presencia de insectos plaga, principalmente, el cogollero del maíz.

Cosecha del maíz: se efectuó a los 90 días después de la siembra, es decir, en el momento

correspondiente a la madurez fisiológica de estado lechoso del grano (maíz tierno). Una vez cosechadas las mazorcas, se clasificaron según su tamaño y posteriormente se evaluaron los diferentes indicadores de producción del maíz.

Establecimiento del ensayo biológico

El ensayo biológico en campo se estableció con un diseño unifactorial completamente aleatorizado, conformado por cinco (5) tratamientos, cada tratamiento con 10 repeticiones. La unidad experimental fue la planta de maíz. En la tabla 1 se observan los diferentes tratamientos evaluados en el experimento.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la investigación

Tratamientos	Descripción
T0	Testigo
T1	Fertilización sintética
T2	Biofertilizante
T3	Abono orgánico
T4	Biofertilizante y abono orgánico

T0: Testigo (Sin aplicación de fertilizantes); T1: Fertilización sintética (NPK); T2: Biofertilizante (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.); T3: Abono orgánico (Estiércol de ganado); T4: Biofertilizante y abono orgánico.

La dosis utilizada en cada tratamiento dependió de los requerimientos nutricionales del cultivo y de la dosis del producto recomendada por el proveedor. En este sentido, para el tratamiento de fertilización sintética se consideró los requerimientos del maíz de 187 kg.ha⁻¹ de N, 38 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ y 192 kg.ha⁻¹ de K₂O (Deras 2020). El biofertilizante se aplicó en una dosis correspondiente de 500 g.100 l⁻¹ de agua, y el abono orgánico a una concentración de 15 % en agua. El momento de la aplicación de los tratamientos fue durante la siembra, a los 15 días y 30 días después de la siembra.

Indicadores considerados en la investigación

Para alcanzar el objetivo planteado se determinaron diferentes variables sobre el crecimiento de la planta de maíz como la altura de la planta (AP) y el número de hojas (NH), las cuales se evaluaron a los 75 días después de

la siembra (dds). También se evaluaron variables de producción de la planta como diámetro (DM), longitud (LM), número de hileras (NHM), número de granos por hilera (NGH), número de granos (NGM) y peso total de la mazorca (PTM). Todos los indicadores se determinaron de acuerdo a la metodología por Guamán *et al.*, (2020). Finalmente, se determinó la eficiencia agronómica relativa (EAR) de la biofertilización y del abono orgánico en la producción de maíz, para lo cual se consideró el PTM (Matheus *et al.*, 2007). Todos los indicadores de producción por planta se determinaron a los 90 dds.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en la investigación fueron sometidos al análisis de varianza ANOVA de un modelo lineal, y la prueba de medias se

realizó por mínima diferencia significativa, utilizando el programa Rstudio (Tapia 2012).

RESULTADOS

Incidencia de los biofertilizantes y abonos orgánicos sobre los indicadores de crecimiento en la planta de maíz

En el indicador AP no se encontró diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos evaluados (T0, T1, T2, T3 y T4) en el experimento con plantas de maíz. No obstante,

la aplicación del biofertilizante y el abono orgánico (T4), fue el que presentó el promedio más alto de la AP (221,5 cm), en comparación al tratamiento testigo (T0), el cual obtuvo un promedio en la AP de 208,7 cm. Por su parte, el indicador NH por planta presentó diferencias significativas ($P>0,05$) entre los tratamientos; aunque ninguno de los tratamientos incrementó significativamente en comparación con el tratamiento T0, únicamente el tratamiento T4 incrementó significativamente en un 5,3 %, respecto al tratamiento T1 (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados sobre los indicadores de crecimiento de la planta de maíz

Tratamientos	AP (cm)	NH
T0	208,7 a	15,2 ab
T1	214,1 a	15,0 b
T2	208,4 a	15,5 ab
T3	215,1 a	15,6 ab
T4	221,5 a	15,8 a

T0: Testigo (Sin aplicación de fertilizantes); T1: Fertilización sintética (NPK); T2: Biofertilizante (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.); T3: Abono orgánico (Estiércol de ganado); T4: Biofertilizante y abono orgánico; AP: altura de la planta; NH: número de hojas por planta. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente ($p<0,05$) significativas según análisis paramétrico ANOVA para un nivel de confianza de 95 %, $n=10$.

Incidencia de los biofertilizantes y abonos orgánicos sobre los indicadores de producción en la planta de maíz

El análisis del efecto de los distintos tratamientos sobre las variables estudiadas reveló diferencias estadísticamente significativas ($P>0,05$) en todos los indicadores de producción de la planta de maíz (Tabla 3). De esta forma, se encontró que el T4 (Biofertilizante y abono orgánico), fue el único tratamiento que incrementó significativamente todas las variables de producción en el maíz, en comparación al tratamiento T0 (Testigo). En relación a eso, el T4 aumentó los indicadores del diámetro y la longitud de la mazorca (DM y LM), en un 13 % y 9,4 %, respectivamente, en comparación al tratamiento T0.

Al mismo tiempo, los indicadores del número de hileras por mazorca (NHM) y del número de

granos por hilera (NGH), incrementaron significativamente al aplicar el tratamiento T4, tal como se observa un efecto positivo del 7,5 % sobre el NHM, y del 10 % en el NGH, en referencia al tratamiento T0. Similarmente, el peso total de la mazorca (PTM) de la planta de maíz fue estadísticamente superior con el tratamiento T4, respecto al T0, pues mostró un efecto positivo del 25 % el parámetro mencionado anteriormente.

Como puede observarse en la tabla 3, el tratamiento con abono orgánico (T3) también incrementó significativamente algunos indicadores de producción evaluados en la investigación como el DM y el NGH, en comparación al testigo (T0). Contrario a lo esperado, el tratamiento T1 (Fertilización sintética), incrementó significativamente solo la longitud de la mazorca (LM) en un 8,5 %, en comparación con el tratamiento testigo.

Tabla 3. Efecto de los diferentes tratamientos aplicados sobre los indicadores de producción de la planta de maíz

Tratamientos	DM (cm)	LM (cm)	NHM	NGH	PTM (g)
T0	5,47 b	24,80 b	17,00 b	36,27 b	317,73 b
T1	5,82 ab	26,93 a	17,67 ab	38,53 ab	353,00 ab
T2	5,88 ab	26,20 ab	17,27 ab	37,73 ab	360,73 ab
T3	6,01 a	26,53 ab	17,80 ab	38,80 a	373,53 ab
T4	6,16 a	27,13 a	18,27 a	39,87 a	396,73 a

T0: Testigo (Sin aplicación de fertilizantes); T1: Fertilización sintética (NPK); T2: Biofertilizante (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.); T3: Abono orgánico (Estiércol de ganado); T4: Biofertilizante y abono orgánico; DM: diámetro de la mazorca; LM: longitud de la mazorca; NHM: número de hileras por mazorca; NGH: número de granos por hilera; PTM: peso total de la mazorca. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente ($p < 0,05$) significativas según análisis paramétrico ANOVA para un nivel de confianza de 95 %, $n=10$.

En relación con la Eficiencia Agronómica Relativa (EAR) determinada al peso total de la mazorca del maíz, se encontró que el tratamiento con el biofertilizante y el abono orgánico (T4)

alcanzó el mayor porcentaje con una EAR de 224 % en promedio, seguido por el abono orgánico (T3) con un 158 % (Figura 1).

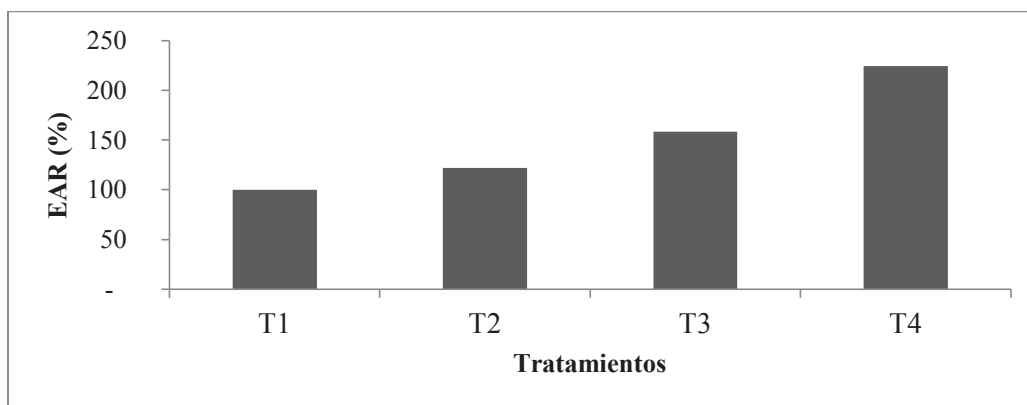


Figura 1. Eficiencia Agronómica Relativa (EAR) del peso total de la mazorca del maíz. T0: Testigo (Sin aplicación de fertilizantes); T1: Testigo químico (NPK); T2: Biofertilizante (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.); T3: Abono orgánico (Estiércol de ganado); T4: Biofertilizante y abono orgánico.

DISCUSIÓN

La evaluación de los indicadores de crecimiento en la planta de maíz (Tabla 2) demostró un efecto significativo de las estrategias de nutrición natural, evidenciado por un mayor número de hojas en los tratamientos con biofertilizante y abono orgánico, en comparación con la fertilización sintética. Estos resultados sugieren que, en un agroecosistema con alto contenido de materia orgánica (6,2%) y condiciones óptimas de pH (6,7) en el suelo, la sustitución de fertilizantes sintéticos por alternativas sostenibles no compromete el desarrollo vegetal. Los resultados encontrados

soportan la viabilidad agronómica de prácticas ecológicas en la producción de maíz, alineada con principios de sostenibilidad (Melgarejo y Bautista 2019).

De manera consistente con estos hallazgos, diversos estudios han reportado el impacto positivo de los biofertilizantes y abonos orgánicos en parámetros de crecimiento vegetal. Díaz-Chuquizuta *et al.*, (2022) demostraron que la aplicación de estiércol líquido de bovino en cultivos de maíz (*Zea mays* L.) incrementó significativamente el área foliar (AP), superando incluso al tratamiento con fertilizantes sintéticos. En concordancia, Escalona *et al.*, (2021)

observaron que el abono comercial Compost Minco Fértil indujo un aumento en la altura de plantas de maíz en comparación con el tratamiento testigo, reforzando la evidencia sobre la eficacia de las enmiendas orgánicas en la promoción del desarrollo vegetal.

De manera semejante, otros autores han reportado un efecto favorable sobre el NHP en maíz al incorporar abono orgánico y biofertilizantes. En este sentido, Aguilar *et al.*, (2015) reportaron en plantas de maíz mayor número de hojas y mayor índice de área foliar, al aplicar el biofertilizante constituido por el consorcio microbiano de *Glomus* spp., y *Azospirillum* spp., en comparación al tratamiento testigo sin biofertilizante. Por su parte, Escalona *et al.*, (2021) también encontraron diferencias significativas sobre el NHP de maíz, con el uso del compost Minco fértil. Estos resultados sobre indicadores de crecimiento en las plantas se deben principalmente al potencial de los abonos orgánicos y los biofertilizantes en aumentar la biomasa microbiana del suelo, mejorar la estructura del suelo, aumentar sustancias reguladoras de crecimiento vegetal y disolución de nutrientes esenciales para los cultivos como el fósforo (Aguñaga *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2022).

En cuanto a la incidencia de los biofertilizantes y de los abonos orgánicos como estrategias naturales para la producción del maíz, permitió determinar que el uso de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal en consorcio microbiano constituido por *Penicillium* sp., y *Trichoderma* sp., y del abono orgánico, son insumos que incrementan los indicadores de producción de la planta (Tabla 3). Lo que demuestra que los biofertilizantes y abonos orgánicos tienen el potencial de aumentar la biomasa y productividad en una amplia gama de los cultivos agrícolas (Prasad *et al.*, 2017). Lo que sugiere que dichos insumos pueden reemplazar parcial o totalmente a los fertilizantes sintéticos, promoviendo así la gestión de agroecosistemas bajo principios de sostenibilidad (López-Soto y Rodríguez-Apodaca 2024).

De igual manera, diferentes investigadores reportan el efecto positivo de estas estrategias naturales en el rendimiento de los agroecosistemas de maíz. De acuerdo con Artola y Villavicencio (2015), la longitud de la mazorca (LM) constituye un parámetro determinante en el rendimiento del maíz, ya que se correlaciona positivamente con el número de granos por hilera (NGH), lo que incrementa el potencial productivo. No obstante, estudios posteriores no reportaron diferencias significativas en la LM o el NGH con el uso de biofertilizantes a base de *Azospirillum brasilense* y *Chromobacterium violaceum* para el indicador LM del maíz (Martínez *et al.*, 2018), lo que sugiere que el efecto puede depender de factores ambientales, genotipos o dosis aplicadas de biofertilizantes (Chávez-Díaz *et al.*, 2020), demostrando, que existe una especificidad de los biofertilizantes para incidir positivamente sobre algunos indicadores de producción como la LM, puesto que, no todos los biofertilizantes incrementan los parámetros evaluados.

Similarmente, Flores *et al.*, (2021) obtuvieron diferencias significativas con la aplicación de fertilizantes y biofertilizantes sobre el indicador DM en maíz, aun cuando los valores publicados fueron menores (4,8 cm) a los encontrados en esta investigación con el uso de biofertilizante y abono orgánico (6,16 cm), lo cual se debe probablemente al cultivar de maíz utilizado, las condiciones del experimento y a los insumos evaluados.

En referencia a los indicadores del NHM, NGH y PTM, se encontró una efectividad alta con la aplicación del biofertilizante y del abono orgánico (Tabla 3). Esto se debe posiblemente, a la función que poseen los biofertilizantes y los abonos orgánicos para aumentar la absorción de elementos esenciales en la producción del maíz, como el fósforo y el nitrógeno, puesto que, tienen funciones específicas sobre características morfofisiológicas de las plantas, tales como; número de hileras y NGH en las mazorcas de maíz (Martínez *et al.*, 2018). De manera concordante, los resultados de este estudio son consistentes con los hallazgos reportados por Díaz-Chuquizuta *et al.*, (2022), quienes

evidenciaron que la aplicación de estiércol líquido bovino como abono orgánico mejoró significativamente los parámetros productivos del maíz, incluyendo el diámetro y la longitud de la mazorca, así como el número de granos por hilera. Estas variables, directamente relacionadas con el rendimiento del grano por planta, respaldan el potencial agronómico de los fertilizantes orgánicos en el cultivo.

Sobre la base de las consideraciones anteriores y los resultados obtenidos en el indicador del PTM de maíz (Tabla 3), al aplicar el biofertilizante (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.) y el abono orgánico (Estiércol de ganado), se puede señalar que el tratamiento T4 presentó un efecto tangible sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Además, el uso de estos insumos en los agroecosistemas también beneficia al suelo, pues es conocido que estos productos naturales, especialmente los biofertilizantes, ayudan a la solubilización del fósforo que se encuentra inmovilizado en el suelo y lo transforman en formas químicas que puede ser absorbido por las plantas (Hernández *et al.*, 2019).

Resultados similares fueron publicados por García *et al.*, (2020) los cuales, obtuvieron un incremento significativo sobre los indicadores del PTM y sobre el rendimiento de grano de maíz, al aplicar abono orgánico dirigido al suelo o al follaje de la planta de maíz. Sin embargo, estos resultados no coinciden con los obtenidos por los Martínez *et al.*, (2018), quienes no encontraron diferencias significativas para estos indicadores, con aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Esto es posible a las características propias de los abonos orgánicos como contenido de nitrógeno mineral y de otros elementos nutritivos, así como la cantidad aplicada, lo cual incide en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad, en el pH del suelo y la densidad aparente, lo cual impacta en el crecimiento de las plantas (Ramos y Terry 2014).

En cuanto a la EAR del peso total de la mazorca del maíz (Figura 1), fue superior con el tratamiento que correspondió a la aplicación en

conjunto del biofertilizante y abono orgánico (224%), superando incluso al tratamiento con fertilización sintética. Lo cual coincide con los resultados expuestos por Matheus *et al.*, (2007), quienes evaluaron diferentes abonos orgánicos y obtuvieron que los tratamientos con abonos orgánicos superaron ampliamente al tratamiento con fertilización química. Esto debido a que los fertilizantes químicos son sales solubles, disponibles en forma inmediata para las plantas, pero de corta acción residual, mientras que los abonos orgánicos son de lenta liberación y por tanto aportan nutrientes a través del tiempo.

Con base a esto, se puede deducir que la utilización de insumos naturales como los biofertilizantes y abonos orgánicos son una alternativa para alcanzar rendimientos significativos en el cultivo del maíz, lo cual indica que el estiércol de ganado utilizado en esta investigación interactuó positivamente con el consorcio fúngico (*Penicillium* sp. y *Trichoderma* sp.) y la planta de maíz (híbrido Dekalb). Por esto, los biofertilizantes y abonos orgánicos también se deben considerar en los sistemas agrícolas en transición hacia los agroecosistemas sostenibles, cuyo potencial también es contribuir con los objetivos del desarrollo sustentable.

CONCLUSIONES

La biofertilización en conjunto con la aplicación de abonos orgánicos, son una alternativa efectiva para la nutrición del cultivo de maíz en la región Andina, lo que permite disminuir la dependencia de insumos sintéticos, minimizar la contaminación al suelo, así como propiciar el uso eficiente de los recursos naturales, factores determinantes para gerenciar los agroecosistemas sostenibles.

AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, por el apoyo a través del proyecto 02-003-2022.

REFERENCIAS

- Aguilar, C., Escalante, J. y Aguilar, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Revista Terra Latinoamericana*, <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n1/2395-8030-tl-33-01-00051.pdf> 33(1): 51-62.
- Aguñaga, A., Medina, K., Garruña, R., Latournerie, Luis, y Ruíz, E. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Acta Universitaria*, 1(30): 1-14..
- Artola, G. y Villavicencio, O. (2015). Comportamiento agronómico de tres genotipos de maíz (*Zea mays* L.) por efecto de la aplicación de abonos orgánicos y sintéticos, Cofradía 2012. <https://repositorio.una.edu.ni/3202/1/tnf04a792.pdf>.
- Ávalos, M., Figueroa, U., García, J., Vázquez, C., Gallegos, M. y Castillo, A. (2018). Bioinoculantes y Abonos Orgánicos en la Producción de Maíz Forrajero. *Nova Scientia* <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20335838300910>(1): 170-189.
- Beltrán-Pineda, M. y Bernal-Figueroa, A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *MUTIS*, 12(1).
- Chávez-Díaz, I., Zelaya, L., Cruz, C., Rojas, E., Ruiz, S. y de los Santos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agrobiotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6): 1423-1436.
- Deras, H. (2020). Guía técnica del cultivo de maíz. IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Díaz-Chuquizuta, P., Hidalgo, E., Cabrejo, C., Ofelia, A. y Valdés, R. (2022). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos. (INIA). <https://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v38n2/0719-3890-chjaasc-38-02-144.pdf>
- Escalona, A., Gavilanez, T., Francisco, A. y Ramírez, H. (2021). Uso de enmiendas en la producción de maíz para ensilaje con riego orgánico mineral. *Revista Agron. Costarricense*. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v45n1/0377-9424-ac-45-01-177.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). Cultivos Disponible en: FAOSTAT Statistical Database. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Flores, Y., Romero, A., Torres, A., Briceño, F. y García, A. (2021). Efecto de abonos biológicos y fertilizantes químicos en el cultivo de maíz. *Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. file:///C:/Users/Personal/Downloads/anafrango,+2104+Diagramado-JF.pdf
- García, E., Díaz, P., Hidalgo, E. y Aguirre, O. (2020). Respuesta del cultivo de maíz a concentraciones de estiércol bovino digerido en clima tropical húmedo. *Revista Manglar*, 17(3): 203-208.
- González, P. (2019). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Asesoría Técnica Parlamentaria, N° SUP 118.959: 1-5.
- González, U., Gallegos, M., Preciado, P., García, M., Rodríguez, M., García, J. y Guzmán, T. (2021). Efecto de fuentes de nutrición orgánicas e inorgánicas mezcladas con biofertilizantes en la producción y calidad de frutos de melón. *Revista Terra Latinoamericana*, e904. <https://www.redalyc.org/journal/573/57366066032/57366066032.pdf>. 39: 1-10.
- Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, A., Ulloa, S. y Romero, E. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando 4 híbridos. *Revista Siembra*, 7(2): 047-056.
- Hernández, D., Ferrera, R. y Alarcón, A. (2019). Trichoderma: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Revista Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(1): 98-112.
- López-Soto, N. y Rodríguez-Apodaca, J. (2024). Caracterización de abonos orgánicos elaborados de desperdicios de la industria alimentaria en el norte de Sinaloa, México:

- una alternativa para las prácticas agrícolas sustentable. *Ra Ximhai*, 20(3): 153-169.
- Melgarejo, V. y Bautista, S. (2019). Agroecología: de agroecosistemas a agroecosistemas sostenibles. *Revista de Tecnología, Journal of Technology*, 18(2): 1-13.
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Aguilar, F., Martínez, J. y Gómez, E. (2018). Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Siembra*, 5(1): 026-037.
- Matheus, L., Caracas, J., Montilla, F. y Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Agricultura Andina* 27-38.
- Ortigoza, J., López, C., y González, J. (2019). Guía técnica cultivo de maíz. San Lorenzo, Paraguay. https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_04.pdf
- Prasad, H., Sajwan, P., Kumari, M. and Solanki, S. (2017). Effect of organic manures and biofertilizer on plant growth, yield and quality of horticultural crop: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 5(1): 217-221.
- Ramos, D. y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4): 52-59.
- Sánchez L., Barbosa, A. Valery, A. y Reyes, I. (2015). La biofertilización: una herramienta biotecnológica de la agricultura para inducir suelos supresivos a patógenos. XXIV Congreso Venezolano de Fitopatología. San Cristóbal, Venezuela. Disponible: <http://www.unet.edu.ve/evento/fitopatologia/files/memorias CVF2015pdf>
- Sánchez, L., Arias, Y., Becerra, C. y Valery, A. (2022). Efecto de la inoculación con microorganismos fúngicos y la aplicación de roca fosfórica sobre el crecimiento del pimentón. *Revista Científica de la UNET*, 34(1): 59-71.
- Tapia, J. (2012). Diseño estadístico de experimentos. Universidad Exequiel Zamora. Barinas. Venezuela. 429 p.



DIANA V. PITA G. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Experimental del Táchira (2024). Tesista de la línea de investigación en biofertilizantes del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA.



NORA Y. PITA G. Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Experimental del Táchira (2024). Tesista de la línea de investigación en biofertilizantes del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA.



ROSSY H. PEÑALOZA E. Ing. Agrónomo - Magister en Agronomía. Experto en Procesos Elearning, en Enseñanza de Entornos Virtuales de Aprendizaje. Responsable del Laboratorio Bioambiental UNET. Docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica, Asignatura "Café y Cacao".



ALEXIS VALERY. Ingeniero Agrónomo, Magister en Agronomía mención Producción vegetal, Doctor en Ecología Tropical. Integrante del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA.



LUBERTO A. SÁNCHEZ. Ingeniero Agrónomo. UNET 2005. Magister en Agronomía mención Producción Vegetal. UNET 2011. Docente de las unidades curriculares Café y Cacao, y Manejo de Suelos y Fertilidad, Departamento de Ingeniería Agronómica. UNET. Investigador del Grupo de Investigación en Biotecnología Agrícola y Ambiental GIBAA, Decanato de Investigación. UNET.