

Influencia de hongos micorrízicos más ácidos húmicos en la producción de maíz duro (*Zea mays L.*) en Babahoyo

*Influence of mycorrhizal fungi plus humic acids in the production of hard corn (*Zea mays L.*) in Babahoyo*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7261608>

AUTORES: Eduardo Colina Navarrete ^{1*}

Hamilton Flores Leturne ²

Carlos Castro Arteaga ³

Maribel Vera Suarez ⁴

Álvaro García Sánchez ⁵

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: ncolina@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 07/ 01 / 2022

Fecha de aceptación: 12 / 03 / 2022

RESUMEN

En la provincia de Los Ríos la producción de cultivo de maíz está altamente desarrollada por los agricultores, sin embargo, el inadecuado uso de prácticas por los agricultores, ha causado problemas con la fertilidad de suelos. La pérdida de materia orgánica y

^{1*} Ingeniero Agrónomo. Magister Agroecología. Docente. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UTB. Babahoyo, Ecuador. ncolina@utb.edu.ec

²Ingeniero Agrónomo. Finca “Don Jorge”. San Juan, Pueblo viejo. Ecuador

³Ingeniero Agrónomo. Magister Agroecología. Docente. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UTB. Babahoyo, Ecuador. cacastro@utb.edu.ec

⁴Ingeniero Agrónomo. Master en Administración de Empresas. Doctor en Ciencias (c) Docente. Facultad de Ciencias Agropecuarias-UTB. Babahoyo, Ecuador. mvera@utb.edu.ec

⁵Ingeniero Agrónomo. Magister en Agronomía. Gerente Técnico e Investigación NederAgro S.A. Babahoyo, Ecuador. agarcia@nederagro.com

poblaciones de microorganismos benéficos, disminuyen la capacidad productiva de los suelos y por ende pérdidas en la producción de la gramínea. Los objetivos planteados en la investigación fueron determinar el efecto de la combinación de micorrizas y ácidos húmicos sobre el comportamiento agronómico del cultivo de maíz y establecer el tratamiento de mayor incremento en el rendimiento de grano. Como material de siembra se empleó semillas del híbrido SOMMA. Los tratamientos estuvieron compuestos por micorrizas (Mycor) a dosis de 0,5 y 1,0 l ha⁻¹ más ácidos húmicos en diferentes concentraciones; más un testigo absoluto sin aplicación de productos antes mencionados. Se aplicó el diseño experimental de Diseños Factoriales AxBxC+1, siendo utilizada la prueba de Tukey ($p \geq 0,05$). Los resultados obtenidos en campo mostraron la altura de planta estadísticamente diferente con la aplicación de la interacción de Mycor 0,5 l ha⁻¹ + Humus 12 % 3,0 l ha⁻¹. Con las aplicaciones se tuvo mayor longitud de mazorcas aplicando Mycor 0,5 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2,0 l ha⁻¹. Las plantas tratadas con Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2,0 l ha⁻¹ mostraron incrementos en la producción de grano con una media de 6491,0 kg ha⁻¹.

Palabras claves: Micorrizas, Materia orgánica, Maíz, Fertilización

ABSTRAC

In the Los Ríos province, corn crop production is highly developed by farmers, however, the misuse of farmers' practices has caused problems with soil fertility. The loss of organic matter and populations of beneficial microorganisms, decrease the productive capacity of the soils and therefore losses in the production of the grass. The objectives of the research were to determine the effect of the combination of mycorrhiza and humic acids on the agronomic behavior of the corn crop and to establish the treatment with the greatest increase in grain yield. As sowing material, seeds of the SOMMA hybrid were used. The treatments were composed of mycorrhiza (Mycor) at doses of 0,5 and 1,0 l ha⁻¹ plus humic acids in different concentrations; plus an absolute witness without application of the aforementioned products. The experimental design of Axial AxBxC + 1 Factorial Designs was applied, using the Tukey test ($p \geq 0,05$). The results obtained in the field showed statistically different plant height with the application of the interaction of Mycor 0,5 l ha⁻¹

+ Humus 12% 3,0 l ha⁻¹. With the applications, there was a greater length of ears, applying Mycor 0,5 l ha⁻¹ + Humus 12% 2,0 l ha⁻¹. Plants treated with Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12% 2,0 l ha⁻¹ showed increases in higher grain production with an average of 6491,0 kg ha⁻¹.

Keywords: Mycorrhizae, Organic matter, Maize, Fertilization.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo de gran importancia económica y social por su contribución en la alimentación humana y en la elaboración de productos balanceados para consumo animal. De acuerdo con una clasificación oficial existen 25 razas de maíz ecuatoriano. El 18 % de las colecciones de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT) proviene de Ecuador (Ecuaquímica, 2015).

La producción mundial del maíz de acuerdo con la FAO apuntó a un incremento de 33 millones de toneladas (1,3 %) de la producción mundial de cereales en 2017, aproximándose a los 2 646 millones de toneladas. Gracias a la mayor oferta, la utilización total de maíz en 2018/19 se sitúa actualmente en 608 millones de toneladas proporcionadas con buenos manejos nutricionales; es decir, 2,6 millones de toneladas (un 0,4 %) y 18,2 millones de toneladas (3,1 %) más que en 2017/18 (FAO, 2019).

En Ecuador el cultivo de maíz se desarrolló hace 6500 años, pues investigaciones realizadas a partir de fitolitos en muestras de tierra, revelan que en la Península de Santa Elena (Provincia de Santa Elena), los antiguos habitantes de la cultura “Las Vegas” ya empezaron a cultivar esta gramínea (Yáñez et al., 2013).

El rendimiento nacional promedio del maíz duro seco en el ciclo de invierno 2019 fue de 5,51 Mg ha⁻¹, donde la provincia con el mayor promedio fue El Oro (7,63 Mg ha⁻¹) y la de menor productividad fue Guayas con 4,5 Mg ha⁻¹; en Los Ríos destaca el cantón Ventanas con un rendimiento de 5,86 Mg ha⁻¹. El maíz se cultiva en diferentes ecosistemas, desde las zonas tropicales en la costa, hasta las zonas andinas de la sierra, siendo así este uno de los más importantes del país (Farmagro, 2015).

El maíz es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional, tanto por su elevada incidencia social, ya que casi las tres cuartas partes de la producción total

proviene de unidades familiares campesinas, basadas en economía de subsistencia, como también por constituir la principal materia prima para la elaboración de alimentos concentrados (balanceados) destinados a la industria animal, muy en particular, a la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario (Carriel, 2017).

En maíz se recomienda aplicar N 120 – P 100 – K 80 - 20 kg de Mg kg ha⁻¹. El N y K debe fraccionarse: 40 % siembra y 60 % a los 30-40 días después de la siembra. Aplicar micronutrientes al suelo (4-5 kg ha⁻¹) para tener altos rendimientos en maíz (Basantes, 2017).

Una micorriza es la simbiosis entre un hongo formador de micorrizas y las raíces de una planta, y los cuales se encuentran ampliamente extendidos por toda la superficie terrestre y establecen simbiosis con, al menos, el 80 % de las plantas vasculares. Existen varios tipos, entre ellos: ectomicorrícicos, endomicorrícicos, ecto-endomicorrícicos, orquidoides y ericoides. Los más abundantes son los endomicorrícicos formadores de micorrizas arbúsculares (HMA), que se caracterizan porque sus hifas penetran en las células de las raíces formando estructuras de almacenamiento (vesículas) y de intercambio (arbusculos) (Martínez y Pugnaire, 2009).

Estos microorganismos están orientados a favorecer la adquisición de nutrientes por parte de los cultivos, principalmente de gramíneas, a la vez de ejercer un efecto promotor del crecimiento que ayude a superar situaciones de estrés o simplemente logre incrementar su tasa de crecimiento en algún estadio importante para la definición de los rendimientos, ya que son organismos que se encuentran en la rizósfera de las plantas cultivadas, sólo que en estos casos se incrementa su población, la cual vuelve al nivel de equilibrio inicial luego de la senescencia del cultivo (Couretot y Ferraris, 2009).

Las micorrizas son una simbiosis mutualista que tiene como función aumentar la superficie de absorción de la raíz, por medio de un sistema de hifas extrarradicales en la cual la planta puede absorber y asimilar más agua, minerales (nitrógeno y fósforo) e iones poco móviles (ácido fosfórico, amoníaco, zinc, cobre), favoreciéndose su balance hídrico y nutrición (Garzón, 2016). Las plantas también albergan a las micorrizas en relación de simbiosis, lo

cual ayuda de manera rápida a la absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo para su posterior asimilación (Villacrés, 2013).

Los hongos micorrícicos arbúsculares interactúan simbióticamente con cerca del 90 % de las plantas terrestres formando diferentes tipos de asociaciones micorrícicas, han beneficiado muchas especies importantes en agricultura, como el maíz, al incrementar su adaptación a diferentes ambientes y con efectos positivos sobre la productividad del sistema. La relación simbiótica entre hongos micorrícicos y raíces de la mayoría de las plantas es benéfica ya que el hongo coloniza la corteza de la raíz para obtener carbono a partir de la planta hospedera, mientras le ayuda a la planta a tomar fósforo y otros nutrientes minerales del suelo (Serralde y Ramírez, 2004).

Dentro de los beneficios más visibles de la formación de las micorrizas se encuentra la capacidad de los hongos para estimular en las plantas hospederas un mayor tamaño y producción de semillas, a través de la incorporación de fósforo y otros nutrientes. Adicionalmente, se sabe que la producción de fitohormonas por parte del hongo mejora la estructura del suelo, favorece la resistencia a plagas en el suelo, el micelio participa en la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas de glomalina, contribuyendo a darle estructura y estabilidad, reduciendo la erosión y mejorando la capacidad de retención del agua por los ecosistemas perturbados (Garzón, 2016).

El maíz cumple una función de gran importancia en el suministro alimentario y ha sido catalogada como una planta micotrófica facultativa que responde a la presencia de micorrizas en suelos con bajo o moderado nivel de fertilidad. Las micorrizas tienen simbiosis con hongos del phylum Glomeromycotay y la mayoría de las plantas vasculares; además, tiene capacidad de incrementar la absorción de nutrientes poco móviles. No obstante, las micorrizas confieren a la planta otros beneficios, tales como: estimulación del crecimiento, resistencia al ataque de plagas y enfermedades, tolerancia a estrés hídrico, y contribuye a mejorar la estructura del suelo (Pérez et al., 2012).

En todos los sistemas de producción de maíz, asociados con los potenciales de rendimiento, los requerimientos de fertilizante químico varían ampliamente; son máximos para el sistema de riego completo, intermedios para los sistemas de riego incompleto y de temporal con humedad residual y mínimos para el de temporal estricto. También se asocian con el

porte del maíz y la densidad de población indicada, la cual será mayor en el caso de las variedades precoces (Larque et al., 2015).

Existe una clara evidencia sobre la germinación de esporas y el desarrollo de las hifas de algunos hongos micorrízicos arbusculares, éstas son reducidas por la presencia de las sales en los suelos. Además, la asociación entre las micorrizas y las diferentes especies vegetales se presenta bajo condiciones de estrés al ambiente como la sequía, baja fertilidad, salinidad y altas temperaturas (Tapia et al., 2008).

La simbiosis que se establecen entre las raíces, los hongos micorrízicos y las rizobacterias puede facilitar el manejo de la biota edáfica y aumentar la estabilidad del sistema suelo-planta. La pérdida de la capacidad de colonización micorrízica por las plantas también puede resultar una pérdida de los importantes beneficios que proporcionan estos hongos y reduce la capacidad de las poblaciones para colonizar otros cultivos en las secuencias (Riera y Medina, 2005).

Los ácidos húmicos son moléculas complejas orgánicas formadas por la descomposición de materia orgánica que influyen en la fertilidad del suelo por su efecto en el aumento de su capacidad de retención de agua y absorción de nutrientes; además, contribuyen en el aumento de crecimiento y productividad de las plantas (Andrade y Cedeño, 2009).

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos de naturaleza compleja, de elevado peso molecular, formadas por reacciones químicas durante la descomposición de la materia orgánica (M.O). La Sociedad Internacional de Substancias Húmicas (IHSS), las define como “Mezclas complejas y heterogéneas de materiales polidispersados, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos; la celulosa y la lignina de las plantas y sus productos de transformación como los polisacáridos, melanina, cutina, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos” (Martínez, 2014).

Los ácidos húmicos influyen positivamente en la fertilidad de un suelo favoreciendo la actividad microbiana y realizando diversas acciones en función del tipo de suelo. En terrenos arcillosos ayudan a mejorar la estructura del suelo. En los suelos arenosos, que suelen tener bajos niveles de materia orgánica, ayudan a incrementar el intercambio catiónico de los macro y micronutrientes, mejoran la capacidad de retención de agua y por

lo tanto se evita una pérdida de nutrientes por lixiviación, y contribuyen al desbloqueo de los nutrientes y actúan como agentes complejantes naturales, facilitando la asimilación de estos en la planta (AEFA, 2018).

Los ácidos húmicos elevan la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos arcilla-húmicos, forman complejos fosfo-húmicos manteniendo el fósforo en un estado asimilable por la planta, también es importante reconocer que el humus favorece el desarrollo normal de cadenas tróficas en el suelo (Félix et al., 2008) En especial, los ácidos húmicos y fúlvicos generan condiciones favorables en los suelos; particularmente en aquellos que presentan malas condiciones físicas, incluso en cultivos hidropónicos son utilizados exitosamente para amortiguar el pH y Conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas (Martínez, 2014).

Las sustancias húmicas (SH) cumplen un papel fundamental en la fertilidad y calidad del suelo, ejerciendo influencia sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Son moléculas heterogéneas de peso molecular elevado, con diferentes tipos de grupos funcionales, producto de la transformación bioquímica de materiales orgánicos que han sufrido procesos de descomposición, síntesis microbial, reacciones de polimerización y condensación. La estructura de las SH está influida por parámetros como el pH y la fuerza iónica, por lo que las condiciones ambientales podrían influir en el tamaño y forma de las SH (Martínez, Bravo y Martin, 2013).

Las sustancias húmicas aceleran el metabolismo energético y el contenido de clorofila de las hojas de la planta, sobre todo con los ácidos fúlvicos. También aumentan la concentración del RNA mensajero, modificando la producción de proteínas, tanto las que actúan como enzimas como las proteínas estructurales y transportadoras en las membranas celulares. Los ácidos húmicos son efectivos en la regulación de las hormonas de las plantas, al proteger el ácido indolacético de la oxidación enzimática. Las sustancias húmicas contienen radicales libres, siendo mayor en los ácidos húmicos debido a su mayor estado de humificación o polimerización (Rodríguez, 2017).

Entre los beneficios de los ácidos húmicos se destacan la solución de los diferentes problemas que ocurren en el suelo tales como: salinización, calcificación, presencia de

enfermedades, acumulación de residuos tóxicos por la aplicación de productos químicos (Mejía, 2017).

Serralde y Ramírez (2004) evaluaron las poblaciones nativas de micorrizas asociados con dos variedades de maíz, analizando su comportamiento bajo distintos tratamientos con abono orgánico, abono verde y testigo sin aplicación. De 7 924 esporas analizadas se aislaron 24 morfotipos identificados. Se determinó la relación de las condiciones del suelo (pH, M.O., P, K, Al) con el comportamiento de las poblaciones, se obtuvieron coeficientes significativos ($P \leq 0.001$ y $R^2 \geq 83$) para todas las variables. Fueron identificados los géneros *Glomus*, *Entrophospora* y *Gigaspora*, además, se logró identificar *Glomus* en raíces de maíz altamente colonizadas.

Cabrales, Toro, y López-Hernández (2016) evaluaron la eficiencia de cuatro especies de hongos formadores de micorrizas nativa y su mezcla, en la toma de N y P, y su efecto en los rendimientos del cultivo de maíz híbrido. La cuantificación del P y N foliar se hizo por los métodos de Murphy-Riley y destilación con Kjeldalh. Se encontró que las dosis de P y los morfotipos evaluados influyeron en la toma de N y P, siendo 54 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y la mezcla de inóculos los de mejor eficiencia para la toma de N. Los inóculos pueden disminuir la aplicación de P en un 25 % e incrementar los rendimientos del maíz hasta en un 100 % (de 2 a 4 t ha⁻¹) con base en la producción de la zona.

Mora y Leblanc (2012) en su estudio evaluaron el efecto de *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de maíz híbrido y la factibilidad de reducir la dosis de P. La colonización de los HMA en el maíz fue exitosa y el tratamiento sin inóculo no presentó infección. Los tratamientos con *Glomus* produjeron mayor porcentaje de micelios, arbusculos, vesículas y colonización, presentando mayor altura de planta, biomasa aérea y biomasa total. A medida que aumentó la dosis de P disminuyó el efecto de *Glomus* en la producción de biomasa del maíz. La inoculación con *Glomus* permitió reducir el uso de fertilizante fosforado hasta un 33 % de la dosis de P recomendada para la zona.

Por lo antes expuesto se hace prioritario buscar alternativas ecológicas y sustentables, que favorezcan la producción de maíz, disminuyendo la aplicación de fertilización química sobre el cultivo. Por este motivo el trabajo buscó: a) Evaluar el comportamiento

agronómico del cultivo de maíz a la aplicación de micorrizas más ácidos húmicos y b) Establecer el tratamiento de mayor incremento en el rendimiento de grano del cultivo.

METODOLOGÍA

El trabajo de investigación fue realizado en la granja experimental “San Pablo” de la Universidad Técnica de Babahoyo, ubicada en el km 7,5 vía Babahoyo-Montalvo. La zona tiene un clima tropical húmedo, altura de 8 m.s.n.m., coordenadas UTM longitud 658802 E, 9796957 N, precipitación anual 1914 mm, temperatura media anual 25,9 °C (Instituto Nacional de Hidrología y meteorología-INAHMI, 2019).

Para la realización del ensayo se utilizó como material de siembra el híbrido de maíz SOMMA (Villavicencio y Vásquez, 2008).

Los tratamientos utilizados fueron:

Tabla 1. Tratamiento a base de micorrizas + ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

| | Micorriza | Dosis L ha ⁻¹ Concentración | Ácido Húmico Concentración | Dosis ha ⁻¹ |
|-----|-----------|---|-------------------------------|---------------------------|
| T1 | Mycor | 0,5 3,5 x 10 ⁶ | Humus 12,5 % | 2,0 l |
| T2 | | | | 3,0 l |
| T3 | | | Humus 27 % | 2,0 l |
| T4 | | | | 3,0 l |
| T5 | | | Ihumix XD | 30,0 kg |
| T6 | | | | 40,0 kg |
| T7 | Mycor | 1,0 7 x 10 ⁶ | Humus 12,5 % | 2,0 l |
| T8 | | | | 3,0 l |
| T9 | | | Humus 27 % | 2,0 l |
| T10 | | | | 3,0 l |
| T11 | Ihumix XD | 30,0 kg | | |
| T12 | | 40,0 kg | | |
| T13 | Testigo | | Sin aplicación | |

Fuente: Autor.

Mycor es un complejo concentrado de Endo y Ectomicorrizas, con una concentración mínima de 7x10⁶ UFC (unidades formadoras de colonias). Los géneros presentes en Mycor 9 son un complejo de 4 cepas de Endomicorrizas (*Glomus spp.*) y 5 cepas de Ectomicorrizas (*Pisolithus spp.* y *Rhizopogon spp.*). Las esporas del producto son

altamente adaptables y permiten una colonización rápida en muchas condiciones agroecológicas.

IHUMIX DG es una eficiente enmienda orgánica granulada, a base de ácidos fulvicos y húmicos procedentes de Leonardita, la cual actúa sobre la estructura del suelo. Mejora la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los contenidos totales de materia orgánica (MO) su concentración comercial es 68,93% de ácidos húmicos.

HUMUS SKU es un producto que ayuda a mejorar la permeabilidad, porosidad y física general del suelo. Actúa como bioestimulante ecológico enriquecido con N,P,K. Incrementa la fertilidad de los suelos al aumentar la capacidad de intercambio catiónico.

Aumenta la eficiencia de la nutrición edáfica. El producto comercial viene en dos concentraciones 12,5% y 27%.

El diseño experimental fue bloques completos al azar en arreglo factorial $2 \times 3 \times 2 + 1$ testigo, dando 13 tratamientos y tres repeticiones. Para la evaluación y comparación de medias de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey ($p \geq 0,05$).

Previo a las labores de preparación de suelo se realizó la toma de una muestra homogénea de suelo para el análisis tanto físico como químico, y determinar el estado nutricional del suelo. El terreno se preparó con un pase de romeplov y dos de rastra cruzados.

La siembra fue hecha con semilla certificada de maíz, la cual se impregnó con Thiodicarb en dosis de 300 cc por cada 20 kg semilla. El distanciamiento entre plantas fue de 0,2 m entre plantas y 0,8 entre hileras, dando una población aproximada de 62 500 plantas/ha. El control de malezas se efectuó en preemergencia con Pendimethalin en dosis de $3,0 \text{ L ha}^{-1}$ + Atrazina en dosis de $1,5 \text{ kg ha}^{-1}$, las malezas emergidas ente las plantas se eliminaron manualmente a los 35-55-75 días después de la siembra.

El cultivo presentó ataque de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), controlado con clorpirifos 500 cc ha^{-1} y Spinetoran 300 cc ha^{-1} , a los 25 días después de la siembra. En la etapa de pre floración (40 días después de la siembra) se utilizó Fipronil 250 cc ha^{-1} para el control de insectos. No se observó la presencia de enfermedades en el cultivo, no por lo que no fueron aplicados fungicidas.

El ensayo se realizó bajo secas por este motivo se aplicó riegos a la plantación, el tiempo de riego por cambio de posición de aspersores fue de 1 hora aproximadamente con un total de 4 riegos en todo el ciclo de cultivo.

Todas las unidades experimentales tuvieron la aplicación del programa nutricional 133 kg N, 46 kg P, 90 kg K por hectárea. El programa de fertilización edáfica estuvo basado en el cuadro de tratamientos, el mismo que se fraccionó en tres dosis generales (50 % - 30 % - 20 %) aplicados a los 20, 35 y 45 días después de la siembra, con excepción del fósforo que se aplicó en su totalidad en la siembra.

Todos los tratamientos fueron fertilizados con las mismas fuentes y dosis a excepción del testigo. La aplicación de las micorrizas se hizo cinco días después de la siembra del cultivo; y los ácidos húmicos se colocaron al momento de la siembra, para dejarlos incorporados en el suelo.

La cosecha se realizó en cada parcela experimental de forma manual, cuando los granos alcanzaron la madurez fisiológica (24 % humedad). Durante y al final del trabajo se evaluó las siguientes variables: Altura de la planta, diámetro de mazorcas, longitud de mazorcas, peso de 1000 semillas, días a la cosecha, rendimiento por hectárea, Conteo de esporas y porcentaje de colonización.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Altura de planta

El factor micorrizas con Mycor en dosis $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ tuvo 204,69 cm fue estadísticamente superior Mycor en dosis $1,0 \text{ l ha}^{-1}$. La aplicación de Humus 12 % en dosis de 2 l ha^{-1} (202,18 cm) fue estadísticamente diferente a los demás ácidos aplicados. La interacción de Mycor $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ y Humus 12 % con $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ fue estadísticamente superior ($p > 0,05$), siendo la aplicación de Mycor $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ con Humus 27 % en dosis de 2 l ha^{-1} quien representó en menor promedio. El coeficiente de variación fue de 3,43 %.

Tabla 2. Altura de planta de maíz con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

| Micorrizas | Factores | | Altura (cm) |
|------------|-------------|----------|-------------|
| | Ác. Húmicos | Dosis AH | |

| | | ha ⁻¹ | |
|--|------------|------------------|-----------|
| Mycor 0,5 L/ha | | | 204,69 a |
| Mycor 1,0 L/ha | | | 177,81 b |
| | Humus 12 % | 2,0 l | 202,18 a |
| | | 3,0 l | 200,40 a |
| | Humus 27 % | 2,0 l | 191,50 ab |
| | | 3,0 l | 188,03 b |
| | Ihumix XD | 30 kg | 185,27 b |
| | | 40 kg | 180,10 b |
| | Testigo | | 164,00 b |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 226,47 a |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 220,63 a |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 210,40 ab |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 196,30 bc |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 188,97 cd |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 185,37 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 181,57 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 180,17 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 179,77 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 177,90 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 174,83 cd |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 172,60 d |
| Promedio General | | | 191,24 |
| Coeficiente de variación (%) | | | 3,43 |
| Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente Tukey (p≥0,05) | | | |

Fuente: Autor

Días a cosecha

El ANOVA no registró diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 1,96 %. La aplicación de micorrizas con Mycor 1,0 l ha⁻¹ presentó 125,44 días. El tratamiento Humus 27 % en dosis de 2 l ha⁻¹ tuvo 126,33 días. La interacción de Mycor en dosis de 1,0

1 ha⁻¹ + Humus 12 % en dosis de 3,0 l ha⁻¹ tuvieron mayor registro; al contrario, la aplicación de Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12 % en dosis de 2,0 l ha⁻¹ dio menor promedio.

Tabla 3. Días a cosecha con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

| Factores | | | |
|------------------------------|-------------|------------------------------|-----------|
| Micorrizas | Ác. Húmicos | Dosis AH ha ⁻¹ | Días |
| Mycor 0,5 L/ha | | | 125,44 ns |
| Mycor 1,0 L/ha | | | 124,89 |
| | Humus 12 % | 2,0 l | 126,33 ns |
| | | 3,0 l | 126,00 |
| | Humus 27 % | 2,0 l | 124,83 |
| | | 3,0 l | 124,83 |
| | Ihumix XD | 30 kg | 124,05 |
| | | 40 kg | 124,05 |
| | Testigo | | 125 ns |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 127,67 ns |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 127,00 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 125,67 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 125,67 |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 125,33 |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 125,00 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 124,67 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 124,67 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 124,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 124,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 124,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 124,33 |
| Promedio General | | | 5,02 |
| Coeficiente de variación (%) | | | 0,89 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente Tukey ($p \geq 0,05$)

Fuente: Autor

Diámetro de mazorcas.

La dosis de Mycor 1,0 l ha⁻¹ con 5,34 cm fue estadísticamente mayor a Mycor 0,5 l ha⁻¹ (4,78 cm). La aplicación de Humus 12 % 2 l ha⁻¹ con 5,5 cm, fue estadísticamente superior a los demás tratamientos. Las interacciones no mostraron significancia estadística (CV 0,89 %). Estas observaciones corroboran lo descrito por Garzón (2016) y Villacrés (2013) indicando que las micorrizas amplían la superficie de absorción de la raíz, aumentando la capacidad de absorber minerales e iones poco móviles, esto aumenta la productividad de los cultivos.

Tabla 4. Diámetro y Longitud de mazorcas de maíz con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

| Factores | | | Diámetro (cm) | Longitud (cm) |
|----------------|-------------|------------------------------|------------------|------------------|
| Micorrizas | Ác. Húmicos | Dosis AH ha ⁻¹ | | |
| Mycor 0,5 L/ha | | | 4,78 b | 18,82 a |
| Mycor 1,0 L/ha | | | 5,34 a | 17,87 b |
| | Humus 12 % | 2,0 l | 5,50 a | 18,70 ns |
| | | 3,0 l | 5,00 b | 18,51 |
| | Humus 27 % | 2,0 l | 5,00 b | 18,39 |
| | | 3,0 l | 4,97 b | 18,26 |
| | Ihumix XD | 30 kg | 5,03 b | 18,12 |
| | | 40 kg | 5,01 b | 18,09 |
| | Testigo | | 4,94 b | 15,38 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 4,77 a | 19,37 ns |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 4,78 a | 19,28 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 4,74 a | 18,78 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 4,78 a | 18,54 |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 4,78 a | 18,54 |

| | | | | |
|---|------------|-----|--------|-------|
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 4,77 a | 18,48 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 5,40 a | 18,48 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 5,36 a | 18,24 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 5,34 a | 18,03 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 5,38 a | 17,73 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 5,34 a | 17,70 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 5,32 a | 16,96 |
| Promedio General | | | 5,02 | 18,34 |
| Coeficiente de variación (%) | | | 0,89 | 5,65 |
| Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente Tukey ($p \geq 0,05$) | | | | |

Fuente: Autor

Longitud de mazorca

Con la aplicación del factor micorrizas con Mycor 1,0 l ha⁻¹ registró un promedio de 18,82 cm, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos. El factor ácido húmico con la aplicación de humus 12 % en dosis de 2,0 l ha⁻¹ tuvo un promedio de 18,7 siendo mayor a los demás tratamientos. La interacción de Mycor en dosis de 0,5 l ha⁻¹ y humus 12 % con 2,0 l ha⁻¹ presentó el mayor valor con una media de 19,37; sin embargo, la aplicación de Mycor 1,0 l ha⁻¹ con Humus 27 % en dosis de 2,0 l ha⁻¹ presentó menor promedio (16,96 cm), el coeficiente de variación fue de 5,65 %.

Peso de grano

El factor micorrizas con Mycor 0,5 l ha⁻¹ tuvo un promedio de 41,14 g, estadísticamente superior al resto de tratamientos. La aplicación de Humus 12 % en dosis de 2,0 l ha⁻¹ registró un promedio de 41,8 g, valor estadísticamente mayor ($p > 0,05$). La interacción Mycor 0,5 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2,0 l ha⁻¹ (45,23 g) fue mayor a las demás interacciones, el coeficiente de variación fue 5,1 %.

Rendimiento por hectárea

La aplicación de micorrizas con Mycor 1,0 l ha⁻¹ tuvo una media de 6487 kg ha⁻¹, mayor al resto de tratamientos. La aplicación de Humus 12 % en dosis de 2,0 l ha⁻¹ tuvo un valor de 6925,83 kg ha⁻¹, con valor m (p valor $> 0,05$). La interacción de Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2 l ha⁻¹ tuvo el mayor valor (6941 kg/ha) y la aplicación de Mycor 0,5 l ha⁻¹ + Ihumix XD 40 kg ha⁻¹ presentó el menor promedio, con CV de 4,55 %. Los resultados concuerdan

con Cabrales, Toro, y López (2016) quienes con micorrizas nativas incrementaron los rendimientos del maíz hasta en un 100 % (de 2 a 4 t ha⁻¹).

Tabla 5. Peso de grano y rendimiento por hectárea con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

| Factores | | | Peso 100 granos (g) | kg/ha |
|------------------------------|-------------|------------------------------|------------------------|------------|
| Micorrizas | Ác. Húmicos | Dosis AH ha ⁻¹ | | |
| Mycor 0,5 L/ha | | | 41,14 a | 6487,00 ns |
| Mycor 1,0 L/ha | | | 37,94 b | 6484,22 |
| | Humus 12 % | 2,0 l | 41,80 a | 6925,83 a |
| | | 3,0 l | 40,35 ab | 6598,83 ab |
| | Humus 27 % | 2,0 l | 39,52 ab | 6480,67 ab |
| | | 3,0 l | 39,00 ab | 6382,50 b |
| | Ihumix XD | 30 kg | 38,53 ab | 6287,17 b |
| | | 40 kg | 38,07 b | 6238,67 b |
| | Testigo | | 36,9 c | 6357,00 b |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 45,23 ns | 6910,67 ns |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 32,20 | 6498,33 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 40,73 | 6305,00 |
| Mycor 0,5 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 40,43 | 6427,67 |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 39,17 | 6563,67 |
| Mycor 0,5 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 39,10 | 6216,67 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 2,0 | 38,50 | 6941,00 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 38,37 | 6699,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 27 % | 2,0 | 38,30 | 6171,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Humus 12 % | 3,0 | 37,90 | 6337,33 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 30 | 37,57 | 6397,67 |
| Mycor 1,0 L/ha | Ihumix Xd | 40 | 37,03 | 6357,67 |
| Promedio General | | | 39,54 | 6475,64 |
| Coeficiente de variación (%) | | | 5,10 | 4,55 |

Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente Tukey ($p \geq 0,05$)

Fuente: Autor

Conteo de Esporas

En la evaluación realizada se encontró mayor cantidad de esporas con Mycor 1,0 l ha⁻¹ (856 esporas/gramo suelo seco). La supervivencia de esporas se incrementó con la aplicación de Humus 12 % 2,0 l ha⁻¹ (1022 esporas/gss). La interacción de Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2 l ha⁻¹ mostró aumento en la cantidad de esporas vivas (1189 esporas/gss). Los resultados son consistentes con los descrito por Tapia *et al.* (2008) quienes mencionan que el desarrollo de hifas está reducido por la presencia de estrés al ambiente como la sequía, baja fertilidad, salinidad y altas temperaturas.

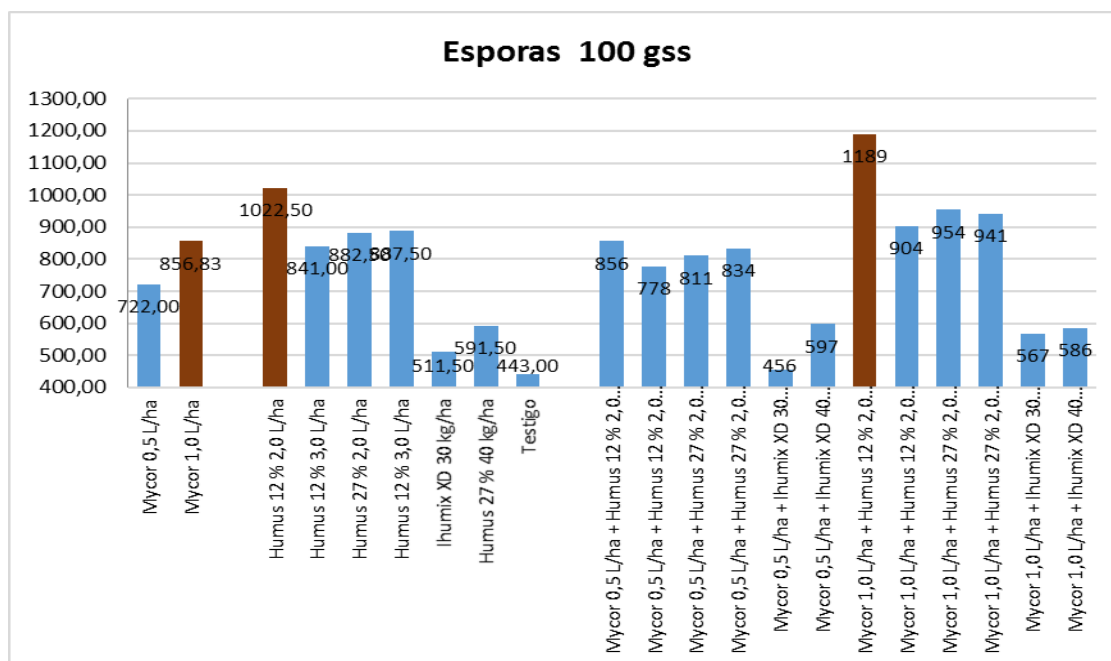


Figura 1. Conteo de esporas por tratamiento con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

Fuente: Autor

Porcentaje de colonización

El reporte de porcentaje de colonización muestra aumentos de micelio en Mycor 1,0 l ha⁻¹ (68,67 %). Mayor cantidad de arbusculos e hifas fueron reportadas con la aplicación de Humus 12 % 2,0 l ha⁻¹ (71,5 %). La interacción de Mycor 1,0 l ha⁻¹ + Humus 12 % 2 l ha⁻¹ expresó mayor cantidad de colonización (87,0 %). Esto indica que la pérdida de la capacidad de colonización micorrízica por las plantas resulta en una pérdida de la

capacidad de las poblaciones para colonizar otros cultivos en las secuencias (Riera y Medina, 2005).

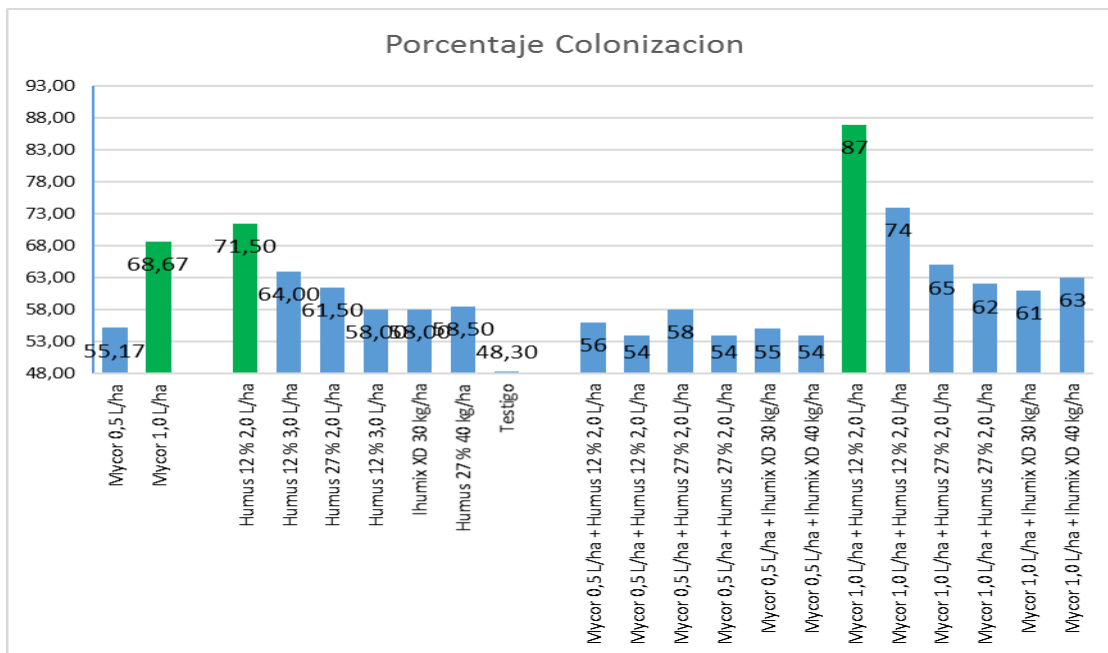


Figura 2. Conteo de esporas por tratamiento con diferentes dosis de micorrizas y ácidos húmicos. Babahoyo, 2019.

Fuente: Autor

Los estudios de micorrizas han demostrado su eficacia en lo referente a interacción que tienen con los organismos vegetales. Los resultados obtenidos en la investigación presentaron para variables como altura de planta no cumplen con lo descrito Pérez *et al.* (2012) al decir que las micorrizas, además, tiene capacidad de estimulación del crecimiento, datos que no fueron apreciables en el ensayo.

Los diámetros de mazorcas mostraron aumentos en las plantas tratadas con Micorrizas en dosis altas, siendo estas observaciones corroboradas por los resultados encontrados por Garzón (2016) y Villacrés (2013) indicando que las micorrizas amplían la superficie de absorción de la raíz, aumentando la capacidad de absorber minerales e iones poco móviles, esto aumenta la productividad de los cultivos.

La longitud de mazorcas y peso de grano, presentaron aumentos en los volúmenes de tamaño con el uso de micorrizas, estos resultados sostienen lo manifestado por Andrade y Cedeño (2009), y Rodríguez (2017); al encontrar aumento de crecimiento y productividad de las plantas tratadas con ácidos húmicos, así como concuerdan con el sentido de que

sustancias húmicas aceleran el metabolismo energético y el contenido de clorofila de las hojas de la planta, aumentando la producción de hormonas y aumento de biomasa.

El rendimiento de grano tuvo variaciones entre los tratamientos inoculados con micorrizas en dosis alta ($1,0 \text{ l ha}^{-1}$) y Humus 12%, estos datos están relacionados con los encontrados por otros autores, y en algunos casos superiores (Murillo, 2017; Mejía, 2017; Valencia y Zuñiga, 2015).

Sin embargo, los resultados encontrados en la población de esporas y en la colonización del hongo no lograron una influencia marcada en varios de los tratamientos probados, siendo Mycor $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ + Humus 12 % 2 l ha^{-1} el único que logró incrementos marcados, resultados que no se compararan por los relacionados a Serralde y Ramirez (2004), pero encuentran una fuerte relación con los datos obtenidos por Mora y Leblanc (2012).

CONCLUSIÓN

La aplicación de micorrizas y ácidos húmicos influyó en el desarrollo y producción de maíz en relación con su testigo absoluto. Los resultados también muestran que no existen efectos en las variables relacionadas a edad cronológica de cultivo, pero en las variables agronómicas presentaron resultados más satisfactorios en dosis y concentraciones más altas. Los resultados muestran que el ácido húmico en presentación líquida presenta una mejor respuesta, en comparación con la fuente granulada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEFA. (2018). Los ácidos húmicos en la agricultura. AEFA. Recuperado: 12-04-2019. Disponible en: <https://aeфа-agronutrientes.org/los-acidos-humicos-en-la-agricultura>.
- Andrade, B., Cedeño, D. (2009). Efecto de NPK y enmendantes en la producción de *Citrullus vulgaris* en río verde, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. 67p.

- Basantes, E. (2017). Manejo del Cultivo de Maíz. Revista Digital El Productor. Recuperado: 12-04-2019. Disponible en: <https://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/manejo-del-cultivo-de-maiz/>.
- Cabrales, E., Toro, M., López-Hernández, D. (2016). Efecto de micorrizas nativas y fósforo en los rendimientos del maíz en Guárico, Venezuela. Revista Temas Agrarios. Vol. 21(2):21-31 (julio-diciembre). ISSN:2389-9182. DOI:10.21897
- Carriel, M. (2017). La importancia del cultivo de maíz. Diario La Hora. Recuperado: 12-04-2019. Disponible en: <https://lahora.com.ec/noticia/937168/la-importancia-del-cultivo-del-maiz-3>.
- Couretot, L., Ferraris, G. (2009). Respuesta del maíz a la fertilización complementaria por vía foliar. Campaña 2006/07 ©. En: Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino. Buenos Aires, Argentina. 127p.
- Ecuaquímica. (2015). Cultivo de maíz en el Ecuador. Ecuaquimica. Recuperado: 12-04-2019. Disponible en: http://www.ecuaquimica.com.ec/cultivo_maiz.html.
- FAO. (2019). Situación Alimentaria Mundial. Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales. FAO. Recuperado: 12-04-2019 Disponible: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Farmagro. (2015). La importancia del maíz en el Ecuador. Farmagro. Recuperado: 12-04-2019 Disponible en: <https://farmagro.com.ec/noticias/149-la-importancia-del-maiz-en-el-ecuador>.
- Félix, J., Sañudo, R., Rojo, G., Martínez, R., Oralde, V. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. Ra Ximhai Revista Científica de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sostenible. Vol 4. 1(2008):57-68. ISSN-e: 1665-0441
- Garzón, L. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. Revista Científica Luna Azul. 42:217-234. DOI: 10.17151/luaz.2016.42.14
- Larque Saavedra, B., Muñiz Reyes, E., Martínez Trejo, G., Gonzales Molina, L., Díaz Valasis, M., Irizar Garza, M. (2015). Uso de micorrizas y abono orgánicos en maíz. Editorial INIFAP. México. 150p. ISBN: 978-607-37-0504-2

- Martínez, C., Bravo, I., Martin, F. (2013). Composición molecular de ácidos húmicos evaluada pirólisis - cromatografía de gases - espectrometría de masas e hidrólisis térmica asistida y metilación en suelos antoandinos de Colombia. *Revista Colombiana de Química*. Vol 42(1):31-46. ISSN: 0120-2804
- Martínez, L., Pugnaire, F. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas: Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Revista Ecosistemas*. Vol. 18. 2-2009(May-Sep):44-54. ISSN: 1697-2473
- Martínez, M. (2014). Ácidos húmicos en la productividad. Engormix. Recuperado: 10-05-2019. Obtenido de: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/las-sustancias-humicas-productividad-t30958.htm>.
- Mejía, L. (2017). Efectos de la aplicación de ácidos húmicos en el desarrollo y rendimiento del maíz (*Zea mays* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. 85p.
- Mora, A., Leblanc, H. (2012). Evaluación del uso de micorrizas arbusculares para disminuir la aplicación de fertilizantes fosforados en el cultivo del maíz. Universidad EARTH. *Revista Tierra Tropical*. 2012 8(2):245-255. ISSN:2524-1966
- Murillo, S. (2017). Efectos de la fertilización orgánica edáfica y foliar, en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en la zona de Babahoyo. Tesis Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. 75p.
- Pérez, Y., Álvarez, J., Mendoza, J., Pat, J., Gómez, R., Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Botánica*. Vol 69(1):46-56. ISSN: 0717-6643. DOI:104067/SO717-663201200010006
- Riera, M., Medina, N. (2005). Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bacterianas y su efecto. *Revista Cultivos Tropicales*. Vol 26(4):21-27. ISSN 1819-4087
- Rodríguez, F. (2017). Sustancias Húmicas: Origen, Caracterización y uso en la agricultura. INTAGRI. Recuperado:12-04-2019. Obtenido: <http://www.intagri.com//categoriaarticulos/nutricionvegetal/pdf>.

- Serralde, A., Ramírez, M. (2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea Mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica*. Vol 5:1(octubre):31-40. ISSN: 022-8706
- Tapia, J., Ferrera, R., Varela, L., Rodríguez, C., Mireles, L., Soria, J., Cisneros, R. (2008). Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Micología*. Vol 26:1-7. ISSN: 0187-3180
- Villacrés, B. (2013). Implementación de un banco de hongos micorrizicos arbusculares, aislados de suelos del área de influencia de EP-Petroecuador y su efecto en el crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en condiciones de estrés por cadmio, en el cantón La joya de los Sachas, provincia de Orellana-Ecuador. Tesis de Ingeniero en Biotecnología. Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Quito, Ecuador. 150p.
- Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., Heredia, J. (2013). Guía de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras. Editorial Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP. CORPOINIAP. Quito, Ecuador. 45p.