

Enmiendas biológicas con fertilización mineral en la producción de tabaco en el subtrópico de La Maná

Biological amendments with mineral fertilization in tobacco production in the La Maná subtropical region

Pedro Suatunce-Zambrano¹, Jonathan López-Bósquez^{1,3}, Wellington Pincay-Ronquillo¹,
Julieta Campi-Mayorga³, Marcos Heredia-Pinos^{2,3}

¹Universidad Técnica de Cotopaxi - Extensión La Maná, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, La Maná, Ecuador.

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Quevedo, Ecuador.

³Instituto Tecnológico Superior Ciudad de Valencia, Pueblo Viejo, Ecuador.

Autor de correspondencia: jonathan.lopez9292@utc.edu.ec

Recibido: 15/05/2024. Aceptado: 04/11/2024

Publicado el 15 de enero de 2025

Resumen

Se realizó un estudio en el Centro Experimental “La Playita” perteneciente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación combinada de enmiendas biológicas con fertilización mineral en el rendimiento del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y en las propiedades del suelo, específicamente pH, durante los meses de octubre 2023 a abril del 2024. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Se evaluaron variables agronómicas a los 60 días después del trasplante. Las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, ancho y largo de hojas y concentración relativa de clorofila con el medidor SPAD. Para el componente de rendimiento las variables evaluadas fueron: peso fresco y seco de la hoja en la etapa de cosecha. Finalmente, se evaluaron los cambios de pH en el suelo una vez por semana. Todos los tratamientos fueron combinados con una fertilización mineral base, en los cuales se obtuvieron como resultado la influencia de las enmiendas biológicas tanto en la parte foliar al utilizar micorrizas, así como, en la variable número de hojas. La variable ancho y largo de hoja con el uso de diatomeas obtuvo un mayor índice de desarrollo. En la variable altura de planta el uso de microorganismos eficientes obtuvo un mayor desarrollo. Las lecturas SPAD con la aplicación de microorganismos obtuvieron la mayor concentración en el contenido de clorofila, mientras que, en el rendimiento del tabaco obtuvo una mayor influencia con el uso de micorrizas con un rendimiento de 3 190 kg ha⁻¹. Por otra parte, los valores de pH en el suelo fueron influenciados en valores similares dentro del rango de 6,0 a 7,0 mediante el uso de microorganismos.

Palabras clave: agricultura sostenible, crecimiento vegetal, microorganismos benéficos, pH, rendimiento.

Abstract

A research study was conducted at the Experimental Center “La Playita” belonging to the Technical University of Cotopaxi, La Maná extension. The objective was to evaluate the effect of the combined application of biological amendments with mineral fertilization on tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) yield and soil properties, specifically pH, during the months of October 2023 to April 2024. A randomized complete block experimental design with 5 treatments and 5 replications was used. Agronomic variables were evaluated 60 days after transplanting: plant height, stem diameter, number of leaves, leaf width and length, and chlorophyll levels with the SPAD meter. For the yield component, the fresh and dry weight of the leaf was evaluated at the harvest stage, and finally, changes in soil pH were evaluated once a week. All treatments were combined with a base mineral fertilization, in which were obtained as a result the influence of biological amendments both in the foliar part when using mycorrhizae in the variable number of leaves, while in the variable width and length of leaf the use of diatoms obtained a higher index of development, in the variable plant height the use of efficient microorganisms obtained greater development. In the SPAD levels, the efficient microorganisms reached the best levels of chlorophyll content in the leaf, while the tobacco yield obtained a greater influence with the use of mycorrhizae with a yield of 3 190 kg ha⁻¹, and the pH levels in the soil were influenced in similar values within the range of 6,0 to 7,0 by the use of microorganisms.

Keywords: sustainable agriculture, plant growth, beneficial microorganisms, pH, yield.

Introducción

El tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), perteneciente a la familia de las solanáceas, es originario de América del Sur se cultiva en gran parte del mundo (Rial, 2010). Desde un punto de vista económico, constituye la especie más importante del género *Nicotiana*. Además, el tabaco es un cultivo que ha sido objeto de actividades agrícolas desde hace siglos, el cual desempeña un papel significativo en la cultura de diversas localidades. Su cultivo se extiende a una amplia gama de climas, tanto subtropicales como tropicales, siendo estos últimos los más adecuados para el desarrollo de este tipo de plantas, de hecho, el tabaco prospera en altitudes que oscilan entre los 400 y los 800 metros sobre el nivel del mar (Castro, 2021).

Según datos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en su informe realizado en el 2021 menciona que China es el principal productor de tabaco crudo con un total de 2,1 millones de toneladas, siendo superior a países como la India y Brasil con aproximadamente 700 mil toneladas de producción cada uno (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

En Latinoamérica se cultiva tabaco en diferentes países entre los cuales se destacan Argentina, Brasil, Colombia, Guatemala y Ecuador, estos países representan el 96,9% de la producción total en América Latina y el 16% de la producción mundial (Tovar, 2013). En este contexto, los principales destinos del tabaco se encuentran en Bélgica como el principal importador seguido de Indonesia, Estados Unidos y República Dominicana, según el Observatorio de Complejidad Económica (OEC, 2022).

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2021) señala que el tabaco es uno de los productos más consumidos a nivel global, generando una atractiva demanda mundial para los productores. En Ecuador, se sembraron alrededor de 3 650 hectáreas de tabaco en ese año, posicionándolo como uno de los principales cultivos transitorios del país, ya que, de acuerdo con datos económicos del Observatorio de Complejidad Económica (OEC), Ecuador exportó alrededor de \$105 millones de dólares en tabaco crudo en 2022, convirtiéndolo en el vigésimo tercer exportador de tabaco a nivel mundial y el vigésimo producto más exportado del país (OEC, 2022).

El cultivo de tabaco exige cumplir con estrictos estándares de calidad establecidos por la industria tabacalera, lo que implica obtener hojas de tamaño, color, textura y aroma específicos. Para alcanzar estos estándares y cumplir la exigencia de los mercados, el uso de fertilizantes sintéticos ha sido una práctica común. Sin embargo, una fertilización desmedida y poco controlada puede generar diversos problemas a nivel edáfico, como pérdida de fertilidad y contaminación ambiental. González (2019), manifiesta que la aplicación excesiva de estos fertilizantes ha permitido una degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios

biológicos y reducción de la biodiversidad, destacando que las plantas pueden absorber entre un 30% y 50% de los fertilizantes químicos, el resto se pierde en el suelo.

La producción intensiva de cultivos transitorios, a lo largo del tiempo, ha provocado la degradación de las características del suelo, el uso frecuente de maquinaria agrícola, plaguicidas y fertilizantes ha generado cambios significativos en el contenido de materia orgánica, la acidificación e incluso la erosión del suelo. Estas alteraciones han tenido un impacto directo en la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas, lo que convierte insostenible el desarrollo de las plantas y trae consigo problemas de nutrición, resistencia a factores abióticos y reducción del rendimiento del cultivo (Pozo *et al.*, 2017). Esta afirmación es compartida por Rodríguez *et al.* (2021) que también señalan la degradación progresiva del suelo como consecuencia de la actividad antrópica del hombre ha provocado desequilibrios ecológicos que amenazan la capacidad productiva de los suelos. Sobre la base, Cruz *et al.* (2014) mencionaron que los microorganismos del suelo desempeñan un ciclo muy importante en la agricultura, debido a su asertiva remediación en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, estos microorganismos contribuyen no solo en la recuperación de suelos degradados, sino que también en la sustitución de fertilizantes minerales de forma parcial o de forma gradual y además de su bajo costo de producción y la fabricación mediante recursos locales renovables. Bajo este contexto se destaca un extensivo grupo de microorganismos dentro de ellos las diatomeas que forman parte de las enmiendas biológicas. Canizal (2009) menciona que las diatomeas son un grupo de organismos microscópicos unicelular con vida libre con una pared silícica la cual encapsula a la célula. Las diatomeas al ser algas fosilizadas se las utilizan de forma edáfica o diluida en agua, la cual tiene varios tipos de uso y forma de emplearla tales como fertilizantes orgánicos o como insecticidas ecológicos dentro de los cultivos (Zepeda, 2019). En cuanto a las diatomeas, provenientes de algas, destacan por su alto contenido de silicio, lo que las hace beneficiosas para la estructura del suelo. El silicio extraído de estas algas ha sido utilizado en la restauración de suelos degradados, ya que su escasez conduce a la destrucción de complejos orgánico-minerales, acelerando así la degradación del suelo y disminuyendo su calidad (Vallejo y Soraya, 2011).

Los microorganismos, incluyendo bacterias, levaduras, actinomicetos y hongos filamentosos fermentativos, así como las micorrizas y diatomeas, desempeñan roles fundamentales en la estructura del suelo (Morocho y Mora, 2019). Al trabajar en sinergia con las enmiendas orgánicas y complementarse con fertilizantes, estos microorganismos fortalecen la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, lo que las hace más resistentes a plagas, esto a través de información del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] *et al.* (2013). En este sentido, los microorganismos del suelo trabajan en conjunto con las enmiendas orgánicas para nutrir el suelo y optimizar sus propiedades físicas, químicas

y biológicas, esta sinergia es fundamental para mantener un suelo saludable y productivo según Gutiérrez *et al.* (2012). Algunas de estas especies de microorganismos son aeróbicas, otras anaeróbicas, e incluso hay especies fotosintéticas, lo más notable es su capacidad para coexistir como comunidades microbianas y, en algunos casos, incluso complementarse mutuamente (Hoyos *et al.*, 2008). Por otro lado, las micorrizas, formadas por la simbiosis entre hongos y raíces de plantas, facilitan la absorción de agua y minerales esenciales, especialmente fósforo, además de proporcionar defensa contra patógenos (Camargo *et al.*, 2012). Por lo antes expuesto, se planteó la presente investigación que tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación combinada de enmiendas biológicas con fertilización mineral en el rendimiento del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y los cambios en el pH del suelo.

Materiales y métodos

La investigación fue desarrollada en el Centro Experimental “La Playita” de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Durante octubre 2023- abril 2024. El campus experimental se encuentra ubicado geográficamente a S 0°56'27" W 79°13'25", altitud de 223 msnm. La zona ecológica posee una temperatura de 23 °C, precipitación media anual de 3 029,30 mm, heliofanía de 735,70 horas luz año⁻¹ y una humedad relativa del 86,83%. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2021).

Como material de siembra se utilizó la variedad Corojo 2012, resultado de dos cruces, criollo 98 por Habana 2000' 'Corojo 99' / 'L 17' dando como resultado una variedad resistente al moho azul, virus del mosaico del tabaco y pata prieta cuyo agente causal es *Phytophthora parasitica*, además se caracteriza por alcanzar altos rendimientos (García *et al.*, 2021).

El experimento se llevó a cabo con cinco tratamientos, tres enmiendas biológicas combinadas con fertilización mineral, solo fertilización y un tratamiento control sin aplicación (Tabla 1). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en parcelas de 23,10 m², cada una con 50 plantas de tabaco (cinco filas de 10 plantas) con una distancia de 0,35 x 1,00 m (2.857 plantas ha⁻¹). Para evitar el efecto de borde, los datos se tomaron de las diez plantas centrales de cada unidad experimental. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza ANOVA, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 0,05% de probabilidad del error como método de comparación de las medias entre los tratamientos. Los datos fueron tabulados en Excel versión 2016, mientras que para el procesamiento estadístico se utilizó el software estadístico InfoStat versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Tabla 1. Tratamientos aplicados en las parcelas

Tratamientos	Dosis
Control (Sin aplicación)	0
Solo fertilización	NPKMgS*
Fertilización + Micorrizas	4 L/ha
Fertilización + Diatomeas	4 L/ha
Fertilización + Microorganismos	4 L/ha

***Fertilización kg ha⁻¹**: Nitrógeno (150), Fósforo (60), Potasio (200), Magnesio (20), Azufre (20)

Durante el desarrollo del experimento se realizaron todas las labores y prácticas agrícolas necesarias para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo. La enmienda biológica con esporas viables de varios géneros de hongos micorrizogénicos se obtuvo de un producto comercial cuya formulación es polvo soluble, con una concentración del 21,88% de inoculante biológico. Los microorganismos con esporas del género *Bacillus subtilis*, fueron obtenidos en suspensión concentrada 1x10³ por litro con una pureza y viabilidad del 95%. Así mismo, la enmienda orgánica de tierra de diatomea es un alga fosilizada unicelulares de origen *Lacustres*, con una concentración de silicio (Si) del 73,60%. Las enmiendas fueron aplicadas 8 días antes del trasplante y 15 y 30 días después del trasplante. Se activaron las micorrizas por 12 horas formando una mezcla con 1 kg de producto comercial en 5 L de agua y 1 L de melaza, la aplicación de los microorganismos y diatomeas fue realizada mediante una dilución homogénea con agua y el producto comercial, finalmente la aplicación fue en forma de drench usando una bomba de mochila previamente calibrada.

Para determinar el efecto de las enmiendas de biológicas, se evaluaron variables, altura de la planta con una cinta métrica (cm), desde la base del tallo hasta la última hoja completamente abierta. Para el diámetro del tallo se utilizó un calibrador (mm), a partir de los veinte centímetros de la base del tallo, las variables largo y ancho de hoja fueron registradas al momento de la cosecha con una cinta métrica (cm), de la misma forma, se contó el número de hojas. También se evaluó el índice de verdor de la hoja en la parte media de la lámina foliar en unidades SPAD con un medidor portátil de clorofila serie 5161-LED. Al momento de la cosecha se registró el peso de hoja por planta, empleándose una balanza de 20 kg con una precisión de ± 0.1. El rendimiento fue calculado en 6 hileras centrales de 2 metros de longitud en 10 plantas de cada una de las unidades experimentales. Los resultados de esta área de cosecha fueron expresados en kg ha⁻¹, los datos mencionados fueron tomados a los 60 días después del trasplante. De la misma manera, se evaluó el pH del suelo, en cada una de las unidades experimentales. Esta variable fue registrada una vez

por semana con la ayuda de un barreno tomando una muestra aleatoria de cada parcela de aproximadamente 100 g de suelo a 20 cm de profundidad, se preparó una mezcla de 15 g de suelo con 70 cc de agua destilada; posteriormente, se vertió la solución por alrededor de 15 minutos y posterior a ello registrar las lecturas de esta variable.

Resultados

En la Figura 1, se presentan los promedios de las variables altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas evaluadas en el cultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) bajo la influencia de diferentes tratamientos de enmiendas biológicas con fertilización química. Todas las variables mostraron un comportamiento similar que resultó en una influencia estadísticamente significativa ($p>0,05$), sugiriendo que el uso de enmiendas biológicas combinadas con fertilización química induce cambios leves en estas variables evaluadas.

La altura promedio de la planta evaluada 60 días después del trasplante, varió entre 45 y 132 cm. El tratamiento con microorganismos en combinación con fertilización mineral alcanzó la mayor altura promedio, con 132 cm, aunque no difirió estadísticamente con los demás, excepto el tratamiento control, que mostró una altura considerablemente menor. En cuanto al diámetro del tallo, los resultados oscilaron entre 10 y 18 mm. Se observó el mayor incremento con el uso de diatomeas y micorrizas en combinación con fertilización mineral, con un diámetro promedio de 17,20 mm. Estos

resultados difieren significativamente del tratamiento control que registró un promedio de 11 mm en el diámetro del tallo. El número de hojas registra un efecto estadísticamente significativo ($p>0,05$) como se observa en la Figura 1(c). El tratamiento control es diferente a los demás y el mayor número de hojas lo indujeron los demás tratamientos, sobre las 12 hojas por planta, los cuales no difieren significativamente entre sí. A pesar de ello, resultados ligeramente superiores presentan la enmienda con microorganismos, esto indica que esta enmienda ha demostrado su capacidad para promover la disponibilidad de los nutrientes que estuvieron a disposición para las plantas lo que fue suficiente para la formación de hojas, por lo que los microorganismos contribuyeron en la solubilización de minerales.

En la Figura 2, se presentan las variables largo de hoja, ancho de hoja y unidades SPAD. En cuanto a estas variables, se observaron diferencias estadísticas significativas. Los tratamientos con diatomeas y micorrizas en combinación con fertilización mineral mostraron los promedios más altos, con comportamientos estadísticamente similares. Estos registraron medidas entre 25 cm de ancho y 46 cm de largo en las hojas, lo que difiere notablemente del tratamiento control, que tuvo un promedio de 17 cm de ancho y 32 cm de largo. No fueron constatados efectos significativos para el contenido de clorofilas en unidades SPAD, a pesar que no hubo diferencias estadísticas el menor valor de clorofila expresa el tratamiento control en comparación a los demás tratamientos.

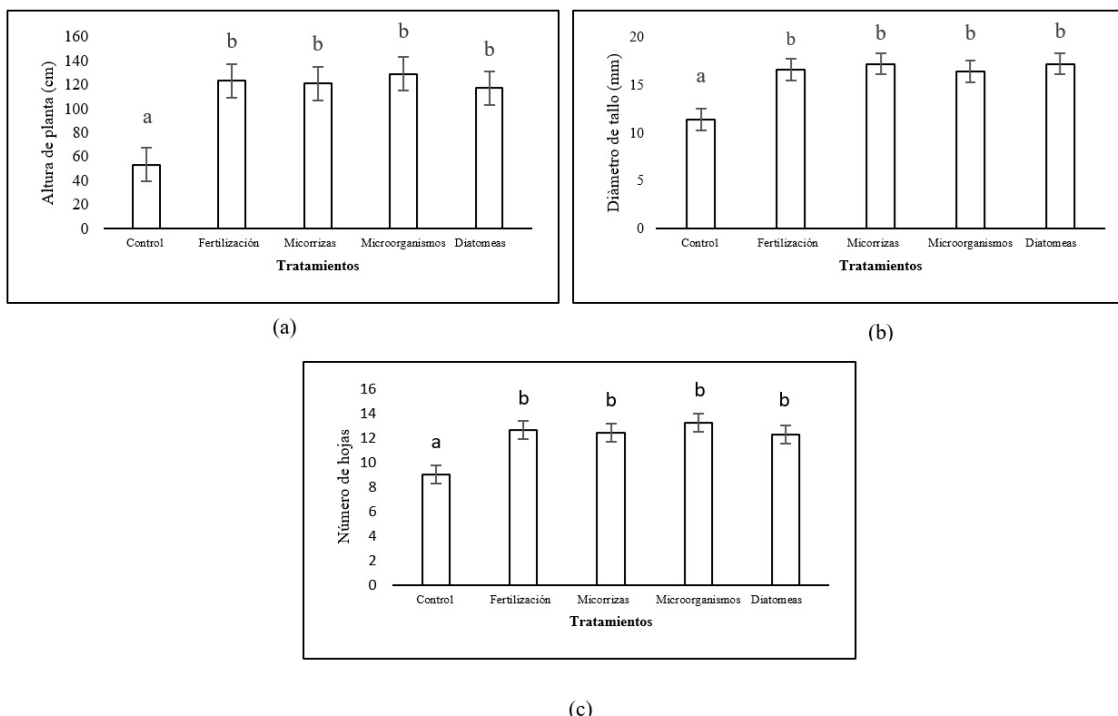


Figura 1. Altura de planta (a), diámetro de tallo (b) y número de hojas (c) en tabaco con aplicación de enmiendas biológicas en combinación con fertilización mineral

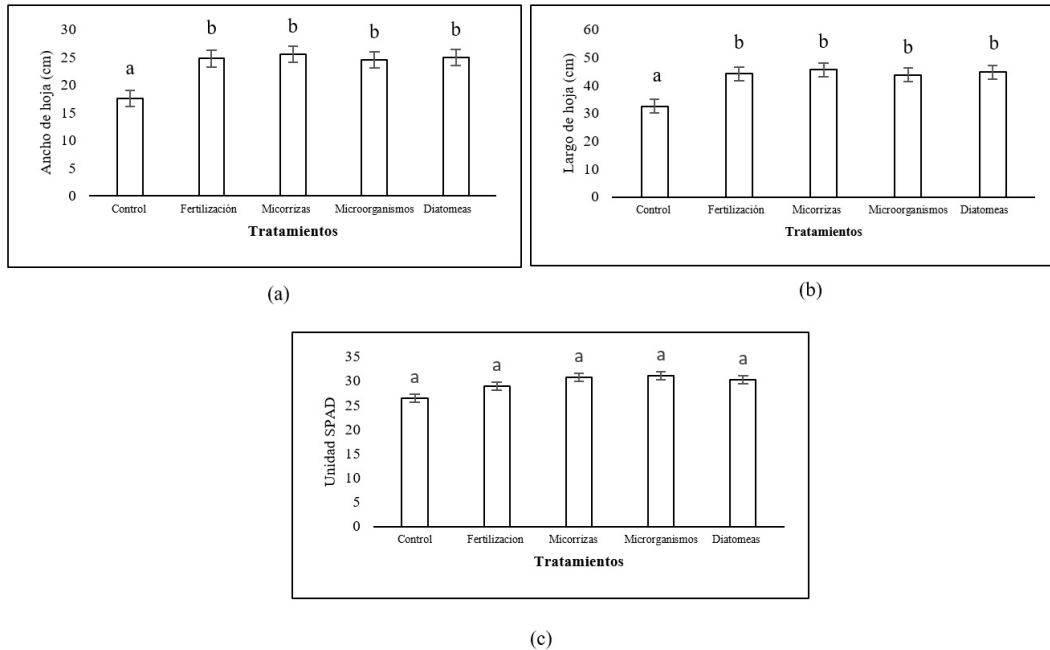


Figura 2. Variables productivas, ancho de hoja (a), largo de hoja (b), unidades SPAD (c) en tabaco con la aplicación de enmiendas biológicas en combinación con fertilización mineral

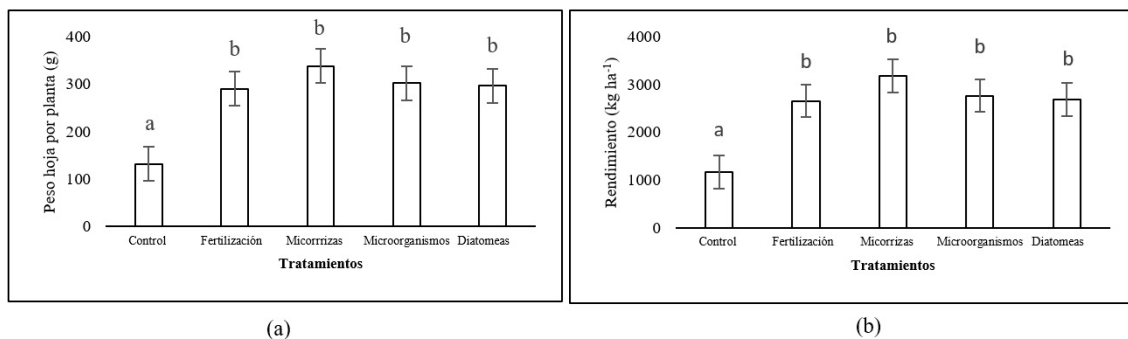


Figura 3. Variables peso de hoja por planta (a) y rendimiento (b) en tabaco con la aplicación de enmiendas biológicas en combinación con fertilización mineral

En la Figura 3, se presentan los resultados de las variables peso de hoja por planta y rendimiento. Los análisis estadísticos para el peso de la hoja mostraron diferencias significativas, destacando el tratamiento con micorrizas, que registró los promedios más altos entre todos los tratamientos evaluados, con 339 g por planta. La fertilización mineral y las diatomeas mostraron resultados similares entre sí, con promedios entre 290 y 297 g por planta respectivamente, mientras que el tratamiento combinado con microorganismos eficientes fue superior. El tratamiento sin enmiendas obtuvo el promedio más bajo, con 132 g por planta.

En cuanto al rendimiento, el tratamiento de micorrizas combinado con fertilización mineral mostró el valor más alto, con un rendimiento de 3 190 kg ha⁻¹. Los tratamientos de fertilización mineral, diatomeas y microorganismos eficientes combinados con fertilización mineral presentaron rendimientos inferiores en comparación con las micorrizas,

con valores de 2 661, 2 686 y 2 773 kg ha⁻¹ respectivamente. El tratamiento control mostró el rendimiento más bajo con 1 174 kg ha⁻¹.

De acuerdo a los valores de potencial de hidrógeno (pH) presentados en la Figura 4, en los distintos días de evaluación se observa diferencias entre los tratamientos. Los niveles de pH varían según el tiempo transcurrido después de la aplicación de las enmiendas biológicas y fertilización mineral aumentando progresivamente con el transcurso del tiempo, llegando a alcanzar el nivel neutro (6,00 y 7,00) en todos los tratamientos al final del experimento. En general, los tratamientos con micorrizas y solo fertilización mineral tuvieron cambios significativos sobre el pH del suelo, aumentando su nivel de medianamente ácido a neutro. Una tendencia similar se mostró en el tratamiento control. Las diatomeas y microorganismos desde el inicio hasta el final de la investigación cambiaron su nivel de ligeramente ácido a neutro.

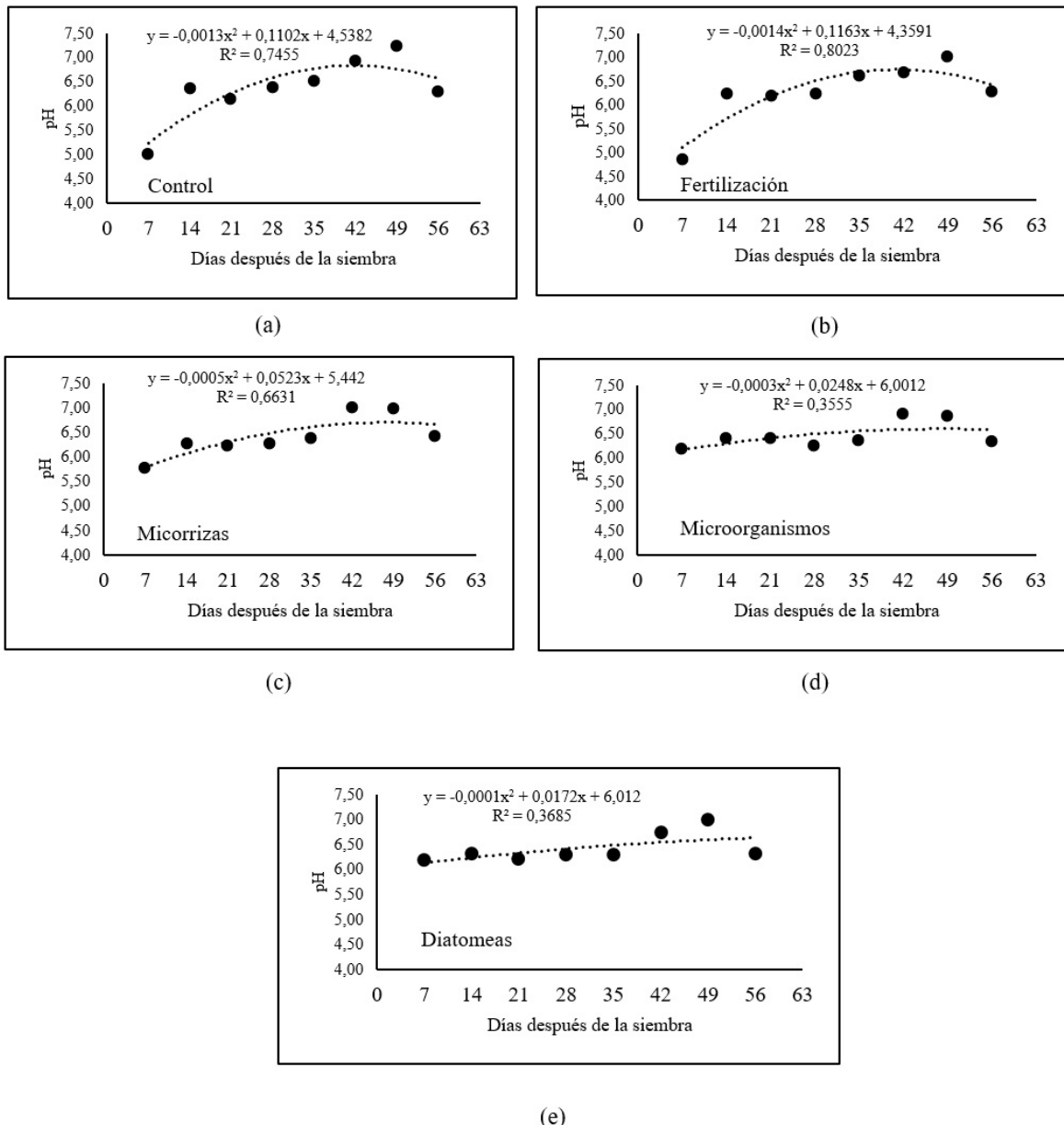


Figura 4. pH en el suelo en los tratamientos control (a), fertilización (b), micorrizas (c), microorganismos (d) y diatomeas (e) en el tabaco con la aplicación de enmiendas biológicas en combinación con fertilización mineral

Discusión

En referencia a estos resultados, Alarcon *et al.* (2020) encontraron que la aplicación de microorganismos en el cultivo de tomate, aumentó de manera significativa la altura de planta con una dosis de 25 cc. cada 14 días. Por su parte, Calero *et al.* (2019) encontraron que al emplear dosis de microorganismos eficientes en plántulas de tomate, eleva el potencial de crecimiento de las plántulas teniendo una diferencia de un 62% en desarrollo de altura en comparación del tratamiento control. En base a la investigación al utilizar microorganismos en combinación con fertilización mineral promueve el desarrollo del tabaco, llegando a alcanzar alturas por encima

del promedio de los otros tratamientos usados, estos resultados son producto de consorcio de hongos, bacterias benéficas, levaduras, puesto que los microorganismos eficientes tienen la capacidad de facilitar el ciclo de nutrientes en el suelo y mejorar la absorción de nutrientes por parte de las plantas, además tienen la habilidad de generar compuestos orgánicos básicos que son aprovechados por las plantas (Tanya y Leiva, 2019).

Con los resultados obtenidos en la aplicación de diatomeas con fertilización mineral se logró deducir que estos ayudan en la estructura del tallo del tabaco, mejorando en su desarrollo morfológico y promoviendo el vigor en la planta, estos resultados son similares a los obtenidos por Moreira *et al.*

(2022) el cual sostienen en su estudio en nabo, que el mayor diámetro de tallo lo encontró con la aplicación de diatomeas. Esto debido a que el silicio que forma la diatomea al ser un polvo fino posee propiedades abrasivas y puede absorber lípidos (Jones, 2020) regula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este silicio soluble es beneficioso para la estructura del suelo y puede aumentar su capacidad de retención de agua y nutrientes puesto a qué la presencia de silicio en las plantas, hace que en las hojas y tallos se incremente la cantidad de oxígeno, el cual es impulsado hacia el parénquima de las raíces evitando que la planta tome de manera excesiva nutrientes, regulando su absorción y suministrando en toda la planta, en este caso el tallo (Treminio, 2008). Estos resultados son comparables con los encontrados por Miranda *et al.* (2021) en el cual encontraron mayor desarrollo y vigor del tallo en el cultivo de maíz los cuáles fueron inoculados con micorrizas arbusculares, teniendo diferencias estadísticas con los diferentes tratamientos. Las micorrizas al estar en simbiosis con la raíz de la planta y proporcionar de fósforo a la planta, el cual es aprovechado mediante la interacción entre el hongo a cambio de carbono orgánico (Smith y Read, 2008), influye en el desarrollo de este tejido pues como le describen Richardson *et al.* (2009) el fósforo influye en el desarrollo fisiológico de las plantas el cual se ve evidenciado en la formación y desarrollo de tallos de mayor vigor.

En base a la producción de hojas, el tratamiento de las micorrizas con fertilización mineral obtuvo el mayor nivel de desarrollo de follaje, lo cual evidencia que estas influyen en la toma de nutrientes y se evidencia de manera significativa en la producción de hojas, estimulando el desarrollo de la planta y aportando en su estructura, estos resultados son comparables con los de Rivillas *et al.* (2019) quienes encontraron que las micorrizas arbusculares en plántulas de café en etapa de vivero influyen en la producción y desarrollo de las hojas pues al emplear dosis de micorrizas fueron estas plántulas las que mayor producción de biomasa foliar mostraron lo cual pone en manifiesto lo encontrado en esta investigación. Por su parte, Rosales *et al.* (2022) quienes en su estudio en porta injertos de limón, encontraron qué emplear dosis (de micorrizas) influyen en el desarrollo de hojas verdaderas esto debido a la capacidad de absorber nutrientes que desarrolla la planta mediante la simbiosis entre raíces y micorrizas, los cuales se concentran en la producción de hoja y en la capacidad fotosintética de la planta.

En cuanto a la variable ancho y largo de la hoja, los microorganismos eficientes con fertilización química obtuvo mayor longitud de hoja promoviendo un crecimiento eficaz y obteniendo valores favorables en esta variable y encontrando similitud con lo realizado por Calero *et al.* (2019) quienes mencionan que, el uso de microorganismos eficientes combinado con fertilizantes minerales promueve el crecimiento de la hoja tanto en longitud como en ancho de la misma, pues obtuvo mayor índice de desarrollo y formación foliar con el uso de este tratamiento en plántulas de

tomate. En la investigación realizada por Khan *et al.* (2022), demostraron que el género *Bacillus subtilis* es un promotor del crecimiento vegetal debido a que produce fitohormonas capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes y suprimir patógenos del suelo, los cuales llegan a influir de manera positiva en el tamaño y la salud de las hojas de las plantas. Por su parte, Palma y Zambrano (2022) mencionan que la tierra de diatomeas y sus contenidos de silicio influye en la producción de biomasa foliar, pues en su investigación en musáceas encontraron diferencias de hasta 35% en comparación a los otros tratamientos, lo cual se evidencia con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Los resultados obtenidos en los valores de clorofila demuestran que una correcta adición de nutrientes promueve a la interacción de nitrógeno en la planta y en su parte foliar pues en la investigación se encontraron resultados similares a los de Novoa y Villagran (2002) los cuales obtuvieron valores con promedios entre 31 y 37 SPAD, en el cual evaluaron la interacción de nitrógeno y su presencia en plantas de maíz (*Zea mays*). Por su parte Escalona *et al.* (2009) en su investigación en lechuga (*Lactuca sativa*), encontraron niveles similares sobre fuente nitrogenadas en la parte foliar, en base a esto los microorganismos eficientes tienen la capacidad de fijar nitrógeno pues como mencionan Rodríguez *et al.* (2020), el género *Bacillus subtilis* tiene la capacidad de fijar nitrógeno (en el suelo), además que el nitrógeno disponible lo sintetiza para que este sea tomado por la planta y cumplir su función puesto que es el nutriente esencial para el desarrollo de la planta y las hojas y este está presente en la clorofila y mediante los niveles de clorofila se asocia la presencia de nitrógeno en la planta lo cuál puede ser relacionado con el valor nutricional que tiene esa planta (Zhou *et al.*, 2023).

Las micorrizas son organismos que muestran efectos en el sistema foliar ayudando a incrementar la biomasa y teniendo mayor número y peso de biomasa foliar, es por ellos que al utilizar micorrizas en combinación con fertilización química se obtuvo mayor producción de biomasa lo cual contrasta con lo mencionado por Roveda *et al.* (2007). Que en su investigación sobre el efecto de las micorrizas arbusculares sobre la aclimatación y endurecimiento de microplántulas de mora (*Rubus ulmifolius*) estas ayudan a obtener mayores índices de absorción de macronutrientes esenciales las cuales presentaron efectos benéficos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de mora además que ayudaron en la acumulación de biomasa en la parte aérea, así mismo consiguiendo efectos positivos sobre el área foliar y el porte de las plantas. Por su parte, los resultados obtenidos por Cruz *et al.* (2014) en su estudio de aplicación de micorrizas arbusculares y fertilizante mineral demostraron que, al combinarlas, la parte área foliar de plántulas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) obtuvieron un mejor índice de desarrollo foliar lo cual pone en evidencia la influencia de las micorrizas. Así mismo mediante el uso de diatomeas Moreira *et al.* (2022) obtuvieron en el cultivo de nabo (*Brassica rapa*) que el utilizar diatomeas en un 75%

incrementa la biomasa foliar. Estos resultados coinciden con los encontrados por Naranjo y Solórzano (2018) Al suministrar dosis de silicio (Si) se incrementa el área foliar en el cultivo de arroz lo que evidencia que la aplicación de silicio es fundamental para una mayor producción de biomasa foliar.

Montero *et al.* (2010) sostienen con base a su investigación en pimiento (*Capsicum annuum*) empleando dosis de micorrizas como biofertilizante ecológico, incrementa la producción del cultivo. Además, Macas (2022) señaló que la combinación de nitrógeno y micorrizas incrementa el rendimiento del maíz blanco hasta alcanzar 8 toneladas por hectárea. Estos hallazgos evidencian que la aplicación de micorrizas con la fertilización química potencia la producción agrícola al facilitar la interacción beneficiosa entre los organismos del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esto, a su vez, favorece la absorción de nutrientes por parte de las plantas, lo que se traduce en un aumento de la producción.

Al utilizar microorganismos se obtuvo un balance en el pH del suelo, con este tratamiento se reguló los niveles de pH que fluctuaron entre (6,00 y 7,00), al respecto Luna y Mesa (2016) sostienen que los microorganismos no solo mejoran las condiciones químicas del suelo, sino que también contribuyen a los procesos biológicos y a la descomposición de la materia orgánica, debido a que tienen la capacidad de producir ácidos orgánicos, lo que puede acidificar el suelo. En consecuencia, su aplicación directa al suelo permite mejorar las propiedades químicas, aumentar la materia orgánica y el pH del suelo (Díaz *et al.*, 2009). Estos cambios en el suelo se dan por la producción de ácidos orgánicos o la liberación de iones de hidroxilo los cuales están asociados con *Bacillus subtilis* pues tal como menciona Liu *et al.* (2020) ciertas cepas de *Bacillus subtilis* modulan el pH del suelo y llegan a tener un impacto en la disponibilidad de nutrientes, por su parte Etesami *et al.* (2015), deducen que *Bacillus subtilis* puede secretar ácidos lácticos, acéticos que tienden a acidificar el suelo.

Conclusiones

La aplicación combinada de enmiendas biológicas con fertilización mineral promovió un mayor crecimiento vegetal en los componentes morfológicos de la planta, así como en el rendimiento del tabaco, por lo que puede ser una estrategia sostenible para incrementar la productividad del cultivo.

Las enmiendas biológicas y la fertilización mineral no provocó cambios en el contenido de clorofila, componente asociado a deficiencias exclusivas de nitrógeno y magnesio. El pH del suelo cambió durante el desarrollo del experimento en todos los tratamientos, se elevó considerablemente en el tratamiento con micorrizas. Se sugiere realizar estudios futuros con fertilizantes de diferente reacción (ácida – alcalina), para contrastar los resultados obtenidos por lo que las enmiendas biológicas surgen como una posible alternativa para contrarrestar las variaciones de pH por el uso de fertilizantes.

Referencias bibliográficas

- Alarcon, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S. y Buendía, M. (2020). Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia agropecuaria*, 11(1), 67–73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>
- Calero. A., Quintero. R., Pérez. D., Olivera. V., Peña. C., Castro. L. y Jiménez. H. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de ciencias agrícolas*, 36(1), 67–78. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.99>
- Canizal, A (2009). *Catálogo ilustrado de Diatomeas dulceacuícolas mexicanas. I. Familia Naviculaceae*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://www.academia.edu/49297544/Cat%C3%A1logo_ilustrado_de_diatomeas_dulceacu%C3%ADcolas_mexicanas_I_Familia_Naviculaceae
- Camargo. S., Montaña. N., De la Rosa-Mera. C., y Montaña S. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria. Coordinación de Acervos Digitales*. 13(7), 3-19 <https://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf>
- Castro, J. (2021). *Manejo agronómico del cultivo de tabaco (Nicotiana tabacum), y su valor agregado en el Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10267>
- Cruz, Y., García, M., León G. y Acosta, Y. (2014). Influencia de la aplicación de micorrizas arbusculares y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 21-24. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/804>
- Díaz, O., Montero, D. y Lagos, J. (2009). Acción de microorganismos eficientes sobre la actividad de intercambio catiónico en plántulas de acacia (*Acacia melanoxylon*) para la recuperación de un suelo del municipio de Mondoñedo, Cundinamarca. *Revista Colombia Forestal*, 12(1), 141-160. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2009.1.a10>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). InfoStat versión 2019. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba-Argentina, Obtenido de <http://www.infostat.com.ar>.
- Escalona, A., Santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V. y Marco, L. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas de “spad” en el cultivo de lechuga. *Agronomía Tropical*. 59(1), 99-105. <http://publicaciones.inia.gob.ve/index.php/agronomiatropical/article/view/522>

- Etesami, H., Alikhani, H. y Hosseini, H. (2015). Indole-3-acetic acid (IAA) production trait, a useful screening to select endophytic and rhizosphere competent bacteria for rice growth promoting agents. *MethodsX*, 2, 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2015.02.008>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], Proyecto Red [SICTA] y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [COSUDE]. (2013) *Tecnología de Bajo costo: Guía de Manejo de Microorganismos Eficientes* (ME). <http://repositorio.iica.int/handle/11324/6123>
- García, V., Santana, N. y Mena, E. (2021). Corajo 2012': nueva variedad de tabaco negro (*Nicotiana tabacum* L.). *Cultivos Tropicales*, 42(1) <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1581/2983>
- González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Situación de los fertilizantes en Chile*. (Informe N° SUP: 118.959.) Biblioteca Nacional del Congreso de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- Gutiérrez, L., Seguro, S., Arenas, J. y Moreno, J. (2012). Evaluación del poder fertilizante de dos abonos orgánicos preparados con microorganismos eficientes en plantas de tomate y maíz. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*. 1(2), 8-14 <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/jals/article/view/375>
- Hoyos, D., Alvis, N., Jabib, L., Garcés, M., Pérez, D. y Mattar V., S. (2008). Utilidad de los microorganismos eficaces (EM®) en una explotación avícola de Córdoba: parámetros productivos y control ambiental. *Revista MVZ Córdoba*, 13(2), 1369-1379. <https://doi.org/10.21897/rmvz.397>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2021). *Homologación y Caracterización de los Registros Estadísticos de Empleo y Empresas. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Quito, Ecuador. Superficie Plantada por Especie en Ecuador*. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2021). Boletín climático Anual del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Jones, O. (2020). *Use of Diatomaceous Earth and Copper Oxide Wire Particles to Control Gastrointestinal Nematodes in Lambs*. [Tesis de Grado, University of Arkansas]. <https://scholarworks.uark.edu/anscuht/35/>
- Khan, R., Mustafa, A., Hyder, S., Valipour, M., Rizvi, F. y Gondal, A. (2022). *Bacillus* spp. as bioagents: uses and application for sustainable agriculture. *Biology* 11(12). <https://doi.org/10.3390/biology11121763>
- Liu, X., Li, Y., Lu, X., Sun, C., Wang, X. y Wang, Q. (2020). *Bacillus subtilis* Alleviates Soil Acidity and Promotes Soybean Growth Under Acidic Conditions. *Frontiers in Microbiology*, 11, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9691937/>
- López, J., Pincay, W., Espinosa, K., Jiménez, W., Martínez, W. y Yépez, H. (2023). Fertilización orgánica y su efecto en el crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.). *Revista Multidisciplinaria de Desarrollo Agropecuario, Tecnológico, Empresarial y Humanista*, 5(1), 8-8. <http://investigacion.utc.edu.ec/index.php/dateh/article/view/823>
- Luna, F. M. y Mesa, R. J. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas*. 4(2), 31-40. <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>.
- Miranda, D., Vigil, A. y Pimentel, R. (2021). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la fase inicial de crecimiento de Zea mays L. *Avances*, 23(3), 282-297. <https://www.redalyc.org/journal/6378/637869395004/html/>
- Naranjo, J. y Solórzano, S. (2018). *Evaluación de diferentes dosis y épocas de aplicación de silicio en el desarrollo y producción del cultivo de arroz variedad DICTA Playitas*. [Tesis de Grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6392>
- Novoa, R.A. y Villagrán, N. (2002) Evaluación de un instrumento medidor de Clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica*, 62(1), 166-171. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100017>
- Macas, E. (2022) *Efecto de dosis de nitrógeno y micorrizas en el rendimiento y composición del grano de maíz blanco variedad INIAP-103 en condiciones del sector La Argelia de la ciudad de Loja*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Loja] <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24871/1/Erika%20Lizbeth%20Macas%20Camacho.pdf>
- Montero, L., Duarte, C., Cun, R. y Cabrera, C. (2010) Efectividad de biofertilizantes micorrizicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. *Verano 1*) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales* 31(3), 11-14 <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/81>
- Moreira, A., Álvarez, R., Reyes, J. y Muñoz, G. (2022). Efecto de la inclusión de diatomeas (*bacillariophyceae* sp.) en las primeras etapas de desarrollo vegetal del cultivo de nabo chino (brassica rapa). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 3088-4000. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3754

- Morocho, T. y Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es.
- Observatorio de Complejidad Económica [OCE] (2022). *Tabaco Crudo en Ecuador*. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/raw-tobacco/reporter/ecu>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [ONU] (2021). *Cultivo de Tabaco*. <https://www.fao.org/4/y4997s/y4997s03.htm#TopOfPage>
- Palma, M. y Zambrano, P. (2022) *Efectividad de sustratos enriquecidos con enmiendas y bioestimulantes en el crecimiento y calidad de plántulas de banano*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1971/1/TIC_A27D.pdf.
- Pozo, C., Cabrera, R., Márquez, E., Hernández, O., Ruiz, M. y Domínguez, D. (2017). Características y clasificación de suelos Gley Nodular Ferruginoso bajo cultivo intensivo de arroz en Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 58-64. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1404>
- Richardson, E., Barea, M., McNeill, M. y Prigent, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, 321(1-2), 305-339. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-9895-2>
- Rial, J. (2010). *El cultivo de tabaco*. Buenos Aires: Universidad de Morón. <https://repositorio.unimoron.edu.ar/>
- Rivillas, A., Calles, M. y Ángel, A. (2019). *Micorrizas Arbusculares “Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del huila”*. Calera. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4223/1/Cap03.pdf>
- Rosales, Y., Pérez, E., Sánchez, I. y Cruz, B. (2022). Micorrizas arbusculares y su efecto sobre el desarrollo vegetativo de portainjertos de limón (*Citrus limon L.*). *La Calera*, 22(38), 9-14. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14152>
- Rodríguez, M., Gallegos, M., Rodríguez, L., Fortis, M., Luna, J. y Gonzáles, U. (2020). Cepas nativas de (*Bacillus spp.*) como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(2), 313-321. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/690/1032>
- Rodríguez, I., Pérez, I. y García, M. (2021). Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(S2), 557-564 <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2349>
- Roveda, G., Cabra, L., Ramírez, M. y Peñaranda, A. (2007). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la aclimatación y endurecimiento de microplántulas de mora (*Rubus glaucus*). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 28-36. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/80/80>
- Smith, S. E. y Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press. <https://www.scrip.org/reference/referencespapers?referenceid=1398632>
- Tanya M. y Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es.
- Tovar, J. (2013). *El Cultivo del Tabaco en América Latina*. Universidad de los Andes–Facultad de Economía–CEDE. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.161363>
- Vallejo, B. y Alvarado, S. (2011). *Rol del silicio en la fertilidad de los suelos y la nutrición vegetal*. INIAP. Estación experimental Santa Catalina. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2499/1/iniapscR2011p1-14.pdf>
- Tremínio, J. (2008). *Efectos del silicato agrícola térmico al 75% en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) Variedad Palo 2, en las variables de crecimiento y rendimiento, en el municipio de San Isidro*, [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria]. <http://repositorio.una.edu.ni/3540/1/tnf01t789.pdf>
- Zepeda, C. (2019). *Bacillariophyta (Diatomeas)*. Guía didáctica de la Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias AU Algas y Biofitas. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/108074>
- Wu, L., Gong, Y., Bai, X., Wang, W. y Wang, Z. (2023). Nondestructive determination of leaf nitrogen content in corn by hyperspectral imaging using spectral and texture fusion. *Applied Sciences*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/app13031910>

