



**Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero
Agrónomo.**

**Título del trabajo: Efecto de la coinoculación de *Canavalia
ensiformis* (L) con EcoMic® y rhizobium en la producción y
calidad del abono verde.**

Autor: Leniel Corcho Capote

Tutor: Dr. C. Lázaro J. Ojeda Quintana

Cotutor: Ing. Juan J. de la Rosa Capote

Curso 2024

“(...) "El futuro de nuestra patria tiene que ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, tiene que ser un futuro de pensamiento, porque precisamente es lo que más estamos sembrando; lo que más estamos sembrando son oportunidades a la inteligencia"(...)

Fidel Castro Ruz

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios todo poderoso y a la virgen de Regla por haberme acompañado y guiado, por darme fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias, felicidad y, sobre todo mucha salud. Por mostrarme amor y ser la luz divina totalmente imprescindible en mi vida y haberme permitido concluir con éxito esta hermosa carrera.

El presente trabajo va dedicado a todas las personas que siempre creyeron en mí y me brindaron todo el apoyo para hoy ser un profesional.

Agradezco con ternura y respeto a mis queridos padres Emiliano Corcho Gómez y en especial a la memoria de mi adorada madre Josefa Capote Capote por inculcarme y educarme sobre la base de la honestidad, creando en mi buenos valores éticos y morales que siempre me brindaron apoyo y esperanzas de seguir y concluir los estudios.

Al amor de mi vida Leinny Isabela Corcho Alvarez mi hija quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

A familiares y amigos y todas aquellas personas que siempre me brindaron su apoyo con gran voluntad en el momento que lo necesité.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, sin el nada de esto pudo ser posible, le doy las gracias por la inspiración y la salud que me brinda día a día. Gracias por la vida.

Agradezco a mi familia en general, pilar fundamental para poder llegar hasta acá, sin duda su apoyo fue muy importante para poder lograr este objetivo.

A mi tutor Dr. C. Lázaro J. Ojeda Quintana que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible concluir con éxito.

A la Ing. Betty de la Rosa Naranjo y al Ing. Juan J. de la Rosa Capote por su constante apoyo e interés para sacar adelante este trabajo de investigación.

A la Finca “Maripa” por consentir la realización del estudio en sus predios.

Al Dr. Yusbiel J. León Valdivies, su familia y trabajadores de la Finca, por su ayuda desinteresada, su enseñanza y constante trabajo para lograr el empeño.

A los profesores del Centro Universitario Municipal de Cumanayagua por su contribución a mi superación profesional.

A todos los amigos de la universidad, los presentes y los que ya no están, por su apoyo, conocimientos compartidos y por su amistad.

Y a todos aquellos que confiaron siempre en mí.

Muchas gracias....

RESUMEN

El mejoramiento de suelos a través del uso de abonos verdes es una práctica fundamental en la agricultura, a partir del aporte de nutrientes que se incorporan. La investigación se realizó en la Finca “Maripa”, perteneciente a la UBPC “Agricultura Urbana” en el municipio de Cumanayagua, provincia Cienfuegos, Cuba, durante los años 2022 y 2023, con el objetivo de establecer el efecto que produce la inoculación con micorrizas (Producto comercial: ECOMIC®) y rhizobium en la producción de biomasa de *C. ensiformis* (L.). Se utilizó un diseño en bloques al azar con ocho tratamientos y tres réplicas. Se determinó la cantidad de biomasa, el aporte de N.P.K que favorece el abono verde y la presencia de nódulos de rhizobium asociados a las raíces de canavalia. Se concluyó que la producción de biomasa de *C. ensiformis* y el aporte de N.P.K fueron superiores en todos los tratamientos coinoculados con rhizobium y micorrizas, con el mejor resultado en el tratamiento Azofert Can 2 + ECOMIC® (3,73 t ha⁻¹ de biomasa) y 92,81, 12,80 y 270,24 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio incorporados respectivamente. Se constató mayor presencia de nódulos por rhizobium en las variantes coinoculadas y ambos testigos, lo que indica en este caso presencia de nodulación espontánea por cepas nativas. Se recomienda extender a áreas de producción de *C. ensiformis* la variante Azofert Can 2 + ECOMIC®, así como aislar cepas nativas de rhizobium presentes en *C. ensiformis* del área con miras de obtener un inoculante comercial específico.

Palabras clave: Abonos verdes, biomasa, micorriza, rhizobium, reciclaje

ABSTRACT

Soil improvement through the use of green fertilizers is a fundamental practice in agriculture, based on the contribution of nutrients that are incorporated. The research was carried out at the “Maripa” Farm, belonging to the UBPC “Urban Agriculture” in the municipality of Cumanayagua, Cienfuegos province, Cuba, during the years 2022 and 2023, with the objective of establishing the effect produced by inoculation with mycorrhizae (Commercial product: ECOMIC®) and rhizobium in the biomass production of *C. ensiformis* (L.). A randomized block design was used with eight treatments and three replications. The amount of biomass, the contribution of N.P.K that favors green manure and the presence of rhizobium nodules associated with canavalia roots were determined. It was concluded that the biomass production of *C. ensiformis* and the contribution of N.P.K were higher in all the treatments coinoculated with rhizobium and mycorrhizae, with the best result in the Azofert Can 2 + ECOMIC® treatment (3.73 t ha⁻¹ of biomass) and 92.81, 12.80 and 270.24 kg ha⁻¹ of nitrogen, phosphorus and potassium incorporated respectively. It is recommended to extend the Azofert Can 2 + ECOMIC® variant to *C. ensiformis* production areas, as well as to isolate native rhizobium strains present in *C. ensiformis* in the area with a view to obtaining a specific commercial inoculant.

Keywords: Green fertilizers, biomass, mycorrhiza, rhizobium, recycling

INDICE

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	1
 Problema científico.....	3
• Hipótesis.....	4
• Objetivo general.....	4
• Objetivos específicos.....	4
 CAPÍTULO.1. REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	5
 1.1. Abonos verdes, una tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos.....	5
 1.2. Los hongos Micorrízicos Arbusculares y sostenibilidad de los agroecosistemas... 	12
 1.3. Canavalia ensiformis, una leguminosa promisorio como abono verde.....	17
 CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
• Localización, suelo y clima.....	27
• Diseño, procedimiento y muestreo.....	28
• Mediciones realizadas	30

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48

INTRODUCCIÓN

El recurso natural suelo en Cuba muestra un alto grado de deterioro, observándose incidencias de varios factores limitantes, incluso en una misma área, entre ellos: 43 % de los suelos está afectado por erosión fuerte a media (3.0 millones de hectáreas); 40 % por mal drenaje (2,7 millones de hectáreas); 70 % por bajo contenido de materia orgánica (4,7 millones de hectáreas); 37 % por baja retención de humedad (2,5 millones de hectáreas); 24 % por compactación (1,6 millones de hectáreas); 15 % por salinidad y sodicidad (1,0 millón de hectáreas); 12 % por pedregosidad (1,0 millón de hectáreas) y 10 % por acidez, pH en KCL $\leq$ 4.6, con 0,7 millones de hectáreas comprometidas (CITMA, 2020).

El año 2015 fue declarado por la Asamblea General de Naciones Unidas como Año Internacional de los Suelos y coincidentemente, se cumplió el 50 Aniversario de la fundación del Instituto de Suelos de Cuba. Como quiera que el suelo es un recurso natural principal, y conociendo su estrecha relación con la producción de alimentos, el cambio climático y la prioridad que el gobierno cubano da a alcanzar la Seguridad Alimentaria resulta fundamental prestarle la máxima atención. La degradación de los suelos constituye el principal problema ambiental de Cuba, el país priorizó el establecimiento de programas dirigidos a la conservación y mejoramiento de los suelos (Muñiz, 2015).

La agricultura ecológica recomienda los tiempos de descanso, en busca de restablecer los equilibrios naturales, que faciliten la restauración y conservación de la fertilidad del suelo (Prager *et al.*, 2012). Los abonos verdes (AV) al igual que los barbechos mejorados se plantean como estrategias agroecológicas a través de las cuales se pueden aunar ventajas comparativas que propicien la seguridad, soberanía alimentaria y la fertilidad natural de los suelos. En la medida que esta práctica se exprese en múltiples beneficios para los agroecosistemas, en particular, el ambiente y las condiciones socioeconómicas y políticas, la misma se irá consolidando más en los agricultores desde una menor escala hasta las grandes empresas productoras de alimentos a nivel internacional.

Una de las tecnologías donde se aúnan estos principios agroecológicos son los abonos verdes, empleados desde civilizaciones antiguas y adaptados inicialmente por los campesinos mediante

construcciones por ensayo-error, posteriormente extendido su uso dentro de las particularidades locales, en la medida que se han comprendido sus principios y beneficios, la finalidad de preservar y restaurar los niveles de materia orgánica y de nutrientes. Tiene como principio la cobertura del suelo, la conservación y el restablecimiento de la productividad de las áreas de cultivos, con un aprovechamiento adecuado del terreno y los insumos (Tivelli,*et al.*, 2010).

Sin embargo, su adopción fue abandonada en las condiciones de la agricultura intensiva, particularmente a partir del inicio de la llamada Revolución Verde, debido al desarrollo de la industria de fertilizantes minerales. Actualmente los avances en la ciencia permiten comprender los fundamentos en que se basa su acción y complementan la información que se posee a través de las culturas locales y el diálogo de saberes informales y sistematizado para rescatar e introducir esta práctica milenaria (Mateus y Wutke, 2011).

El valor de los abonos verdes como vía para el suministro de nitrógeno ha sido reconocido por los agricultores. Este efecto consiste fundamentalmente en el aporte de N de las leguminosas, en simbiosis con bacterias del género *rhizobium*, la movilización de otros nutrimentos y de la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que reduce los requerimientos de fertilizantes de los cultivos y mejora las condiciones de crecimiento y desarrollo de los mismos. Las plantas a utilizar como AV pueden ser otras especies diferentes a las leguminosas como, por ejemplo, las gramíneas y las mismas arvenses acompañantes del cultivo (Dos Santos,*et al.*, 2009).

La incorporación de la biomasa de los abonos verdes hace que se conviertan rápidamente, en sustrato y sufra un proceso de mineralización en el suelo, gracias a la acción de la biota presente. Acompañando esta actividad y durante todo el proceso, la microbiota degrada y transforma los materiales orgánicos en nutrientes minerales que las plantas pueden absorber con facilidad (Sánchez de Prager *et al.*, 2010).

Prager,*et al.* (2012), refieren que *C. ensiformis* (L.) D.C es una especie apta para condiciones extremas de sequía, pobreza y acidez en los suelos. Por ello, se le recomienda en suelos marginales. Llega a fijar hasta 240 kg N total ha⁻¹, es albergadora de insectos benéficos controladores de plagas,

presenta buenas condiciones sanitarias durante todo el año. Puede producir entre 40-50 t ha⁻¹ de material verde.

La *C. ensiformis* (L.) D.C es una especie de leguminosa adaptada a las condiciones de Cuba debido a su vigoroso crecimiento, su uso como abono verde puede mejorar las propiedades físicas del suelo como la porosidad, densidad de volumen y la formación y estabilidad de los agregados. Es una leguminosa que fija grandes cantidades de nitrógeno por simbiosis, y proporciona condiciones adecuadas al suelo (Bunch, 2016).

La adopción de técnicas agroecológicas para la producción agrícola tiene como uno de sus objetivos reducir la dependencia de insumos externos y favorecer los procesos biológicos de fijación del nitrógeno (N) y el ciclo de los nutrientes. Estas técnicas buscan el empleo de los abonos verdes como medidas de control de la erosión, disminuir la incidencia de plantas arvenses, reestablecer sus principales componentes físicos, químicos y biológicos. Un aspecto obligado lo constituye el uso de microorganismos como biofertilizantes (Barroso,*et al.*, 2009).

Algunas de estas investigaciones se enfocan al estudio de microorganismos que conforman la microbiota del suelo y su papel en la matriz edáfica, y buscan disminuir los costos de producción y generar efectos favorables sobre el ambiente. Estas prácticas se encaminan además a la búsqueda de opciones que mitiguen los efectos del cambio climático, dentro de ellas la inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno como el rhizobium (Jaime y Rodríguez, 2008).

De igual forma implementar la simbiosis micorrízica en los cultivos, dado el incremento de la absorción de nutrientes y agua y aumento de los rendimientos al integrarse su manejo con dosis bajas y medias de fertilizantes que se obtienen mediante la inoculación de cepas eficientes, según el tipo de suelo (Rivera,*et al.*, 2007).

A partir de la importancia que representa para la recuperación del suelo el empleo de leguminosas como abonos verdes se identificó el siguiente **Problema Científico:**

¿Qué efectos produce en la biomasa de *C. ensiformis* (L.) para abono verde la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (ECOMIC®) y rhizobium?

Por todo lo planteado anteriormente, proponemos la siguiente **HIPOTESIS:**

La inoculación de *Canavalia ensiformis* (L.) con hongos micorrízicos arbusculares (ECOMIC®) y rhizobium incrementará la producción de biomasa y el aporte de nutrientes al suelo.

De acuerdo con esta hipótesis se plantean los siguientes **OBJETIVOS:**

OBJETIVO GENERAL

Establecer el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (ECOMIC®) y rhizobium en la producción de biomasa de *C. ensiformis* (L.) D.C

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la producción de biomasa y el aporte de NPK que ofrece *C. ensiformis* (L.) inoculada con diferentes cepas de rhizobium y ECOMIC®.
2. Constatar la presencia de nódulos de rhizobium en las raíces de *C. ensiformis* (L.) inoculada con diferentes cepas de rhizobium.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BILIOGRÁFICA

1.1) Abonos verdes, una tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos.

El panorama agrícola actual en el mundo requiere procesos de cambio en los cuales se ofrezcan alternativas a los sistemas agronómicos de producción convencional, dados sus evidentes efectos negativos en lo social, económico, político, ambiental y cultural de los países. Dichas alternativas se incluyen dentro de la Estrategia del milenio.

En el trópico, estos procesos de cambio, requieren que se involucren tecnologías alternativas basadas en el aprovechamiento eficiente de la radiación solar privilegiada con la que contamos, su acumulación en biomasa biodiversa arriba y abajo del suelo, que estimulen la expresión de las simbiosis plantas-microorganismos, construidas en el trasegar coevolutivo con el fin de complementar ciclos nutricionales y ocupar nuevos nichos, entre otros beneficios, además, de propiciar los procesos de acumulación, ciclaje y absorción de nutrientes a partir de la materia orgánica (Prager,*et al.*, 2012).

Una de las tecnologías donde se aúnan estos principios agroecológicos son los abonos verdes (AV), empleados desde civilizaciones antiguas y mejorados inicialmente por los campesinos mediante construcciones por ensayo-error, posteriormente extendido su uso dentro de las particularidades locales, en la medida que se han comprendido sus principios y beneficios para el desarrollo de los cultivos y un mejoramiento paulatino del suelo, que además protege este recurso (Paneque y Calaña, 2002).

La intensificación de la agricultura convencional en los trópicos unida a un gran número de actividades antropogénicas que aceleran los procesos erosivos debidos a la deforestación, disminuyen significativamente la calidad de los suelos. Esto es particularmente crítico en áreas con vocación agrícola sujetas a cambios adversos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Lo anterior conlleva a efectos negativos a nivel social, ambiental, económico y sobre la salud humana, reflejados en la acelerada acción de procesos erosivos debido a la deforestación y deterioro de grandes zonas (Arshad y Martin, 2002).

El empleo de alternativas nutricionales orgánicas que sustituyan a los fertilizantes químicos incrementan la fertilidad del suelo, fundamentalmente la nitrogenada, además de estimular la actividad microbiana y mejorar tanto las propiedades químicas como las físicas (Coyne, 2000). La inserción de abonos verdes en la rotación de cultivos incrementa las entradas de nitrógeno (N) al sistema por vía de la fijación biológica (FBN), garantiza el balance positivo del N y reduce las necesidades de aplicar este nutriente al cultivo sucesor (Guerra y López., 2008).

El impacto negativo del cambio climático sobre la fertilidad del suelo y el exceso de la fertilización mineral de los cultivos han tenido serias afectaciones en la seguridad alimentaria de los países subdesarrollados. Debido a ello, se deben tomar medidas que aseguren un cambio en la sustentabilidad y mejora de los sistemas de producción de alimentos para todas las especies, más acordes con la agroecología (Prager,*et al.*, 2012).

Es conocido que las labores culturales y la explotación de los suelos afecta sus propiedades físicas, químicas, biológicas y potenciales productivas (Prager,*et al.*,2012). Varias investigaciones han intentado desarrollar tecnologías basadas en el uso de vegetación e insumos orgánicos para mejorar la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas (Meléndez y Soto, 2003). Estas tecnologías incluyen el manejo de residuos de cultivos, abonos verdes, coberturas de leguminosas, barbechos, forrajes mejorados, compost, entre otros.

Los abonos verdes, aunque se conocen desde hace milenios, no se emplean muy frecuentemente en la agricultura convencional y la altamente tecnificada. Muchos productores hacen rechazo a su empleo, dado fundamentalmente, porque no dominan sus diferentes formas de uso, sin embargo, no se trata de que el productor se adapte al abono verde, es que los abonos verdes se adapten a las condiciones agroproductivas donde serán empleados y se logre establecer por parte de productores y técnicos mecanismos que favorezcan la introducción de esta tecnología que reviste importancia fundamental para la sostenibilidad de los agroecosistemas (Martín y Rivera, 2015).

Los abonos verdes cobran cada día más interés como alternativa de incremento y conservación de la fertilidad de los suelos, sobre todo en las condiciones de los trópicos. Esta práctica ha mostrado

ser eficiente en la sustitución de fertilizantes nitrogenados y en el incremento de la productividad de los cultivos en países como Brasil, EEUU, China y Colombia. (García,*et al.*, 2002).

En los últimos años se ha ampliado la definición a abonos verdes/cultivos de cobertura (AV/CC), que se cultivan no sólo para ser incorporados, sino que además se siembran para promover la cobertura del suelo, protegiéndolo de la erosión, el impacto de la lluvia y controlar el crecimiento de arvenses (Florentín,*et al.*, 2009).

Según autores como (Espíndola *et al.*,2009), las funciones de los abonos verdes/cultivos de cobertura están asociadas a los siguientes puntos básicos: cobertura y protección del suelo, lo que reduce la erosión, la evaporación del agua y la temperatura del suelo, aumenta la infiltración y evita el encostramiento de la superficie; mejora de sus condiciones físicas, químicas y biológicas; incremento de su contenido en materia orgánica; así como del aporte, reciclaje y movilización de nutrientes; combate de los nemátodos, las plagas y las enfermedades y el control de plantas arvenses.

Los abonos verdes son plantas que se siembran en rotación y/o asocio con un cultivo comercial, son incorporadas al suelo “in situ”, en busca de mantener, mejorar o restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Muraoka,*et al.*, 2002). Además, en algunas ocasiones, estas plantas pueden ser utilizadas, antes de su incorporación, como alimento de animales y para el propio consumo humano. Son especialmente útiles en sistemas donde hay bajo uso de insumos externos.

La incorporación de una cantidad de masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Martín *et al.*, 2007). Por otra parte, la adopción de abonos verdes podría ser especialmente rápida cuando asociado a su uso varias limitantes pueden ser solucionadas a la vez como son: baja fertilidad del suelo, alta infestación de malezas y severa erosión del suelo.

Los abonos verdes se utilizan en el manejo de malezas (pues compiten con plantas invasoras por luz, humedad y nutrientes), también en el control de plagas (Cherr,*et al.*, 2006). Las leguminosas

tolerantes a la sequía integradas como abonos verdes proveen una protección al suelo a procesos erosivos durante la época seca, además de la conservación de la humedad y los aportes de nitrógeno al sistema debido a la fijación de este elemento vía simbiosis con rhizobium y proporcionan canales, por medio de sus raíces, a las capas sub-superficiales conduciendo de esa forma a más altas tasas de infiltración y agregados más estables (Prager,*et al.*, 2012).

El mejoramiento de la aireación del suelo ha sido uno de los beneficios de las coberturas de *Calopogonium caeruleum* sobre las raíces de las plantas de banano. Sin embargo, bajo condiciones de sequía las coberturas vegetales podrían competir por agua y consecuentemente ser menos benéficas que un “mulch”, de igual forma, se menciona la importancia de los abonos verdes de leguminosas dentro del grupo de estrategias para ayudar a restaurar la calidad del aire por conversión del carbono y nitrógeno atmosférico en biomasa (Roca, 2016).

Dadas las múltiples ventajas de los abonos verdes se pensaría que es una tecnología fácil de diseminar si se logra demostrar sus beneficios y se da el apoyo necesario en semilla e información a los potenciales adoptadores. Sin embargo, este no ha sido el caso, pues son pocos los casos de adopción masiva de abonos verdes como por ejemplo la adopción de mucuna en sistemas de maíz en Honduras (Bunch, 2004).

Aunque se pueden utilizar diversas especies vegetales como abonos verdes, las tres familias de plantas más utilizadas, son las leguminosas, las crucíferas y las gramíneas. Las leguminosas son las más empleadas dada su capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico, beneficiando los cultivos siguientes, además de su adaptabilidad a las diferentes condiciones edáficas y la plasticidad de respuesta al pH. Las leguminosas además mejoran el terreno con la penetración de sus raíces y llegan a romper los terrenos más compactos (las raíces de las leguminosas pueden alcanzar más de 1 m de longitud (Lozano,*et al.*, 2011).

Los abonos verdes pueden ser especies leguminosas o no leguminosas como *Secale cereale*, *Setaria italica* o *Helianthus sp.* En el segundo caso, el aporte para el cultivo siguiente es el resultado de reducir las pérdidas del nutriente que ocurren durante el periodo del barbecho y los aportes de N son menores que en los abonos de leguminosas. Cuando el abono verde es una leguminosa existe

un aporte de N, producto de la fijación simbiótica presentan resultados experimentales en los que el abono verde aporta entre 15 y 200 kg ha⁻¹ de N, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N (Douxchamps,*et al.*, 2014).

Es común ver en muchos países el cultivo de leguminosas mezcladas con cereales u otras gramíneas: Veza+cebada; veza+avena; tréboles+raygrass; guisante forrajero+veza, etc. En Chile se ha probado la utilización de la arveja (*Pisum sativum L.*) y la vicia (*Vicia atropurpurea* como abonos verdes (Douxchamps,*et al.*, 2014).

Las raíces de las gramíneas mejoran el terreno ablandándolo en la superficie. En particular el centeno (*Secale cereale*) está indicado para siembra otoñal asociado a algarroba o habas. Las crucíferas tienen un desarrollo muy rápido proporcionando un buen abono verde cuando se dispone de poco tiempo entre cultivos. Son capaces de utilizar las reservas minerales mejor que la mayor parte de las plantas gracias a la longitud de su sistema radicular, acumulando importantes cantidades de elementos en sus partes aéreas que luego serán devueltos al suelo (Lozano,*et al.*, 2011).

Como especies más utilizadas está el nabo forrajero (*Brassica napus var. Oleífera*), la mostaza blanca (*Sinapis alba*), el rábano forrajero (*Raphanus raphanistrum*), etc. Se ha planteado también que las plantas de esta familia, con la acción de sus raíces, hacen asimilable por otras plantas el fósforo presente en el terreno en estado insoluble (Lozano,*et al.*, 2011).

En las últimas décadas en Latinoamérica se han evaluado distintas especies de leguminosas como abonos verdes y cultivos de cobertura en diferentes sistemas de producción. Por ejemplo, el frijol terciopelo (*Mucuna spp.*), en sistemas de maíz el cual se ha diseminado rápidamente en regiones húmedas de México y Centro América, ya que no se adapta a sitios con periodos secos prolongados. Otros ejemplos de leguminosas evaluadas son: *Dolichos lablab*, *Vicia faba* y *Phaseolus coccineus* (Sanclemente y Prager, 2009). El uso de leguminosas cada vez se hace más común por parte de los campesinos y productores de menos recursos.

También Cherr, *et al.* (2006), citan una serie de leguminosas de clima cálido (*C. ensiformis*, *Centrosema pubescens*, *Clitoria ternatea*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Desmanthus virgatus*, *Indigofera tinctoria*, *Lablab purpureus*, *Macroptilium atropurpureum*, *Mucuna aterrima*, *Mucuna pruriens*, *Stylosanthes guianensis*, *Teramnus uncinatus*, *Vigna mungo*, *Vigna radiata*, *Vigna unguiculata*) que han sido evaluadas como abono verde con aportes de N ha⁻¹ que van desde los 60 hasta los 300 kg.

Resultados de experimentos conducidos en Cuyuta, Guatemala, mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna spp.* y *C. ensiformis* manejados bajo cero labranzas (residuos no incorporados) fue de alrededor de 60 kg N ha⁻¹, mientras que la sustitución fue mayor (hasta 158 kg N ha⁻¹ para *Canavalia* y 127 para *Mucuna*), cuando los residuos fueron totalmente incorporados al suelo (Hernández, *et al.*, 2009).

En Brasil se realizaron ensayos para suplir la aplicación de N en cultivos de arroz utilizando N químico (urea) y abono verde de las leguminosas *Crotalaria juncea* y *Mucuna aterrina*. Se demostró que las leguminosas fueron una buena alternativa como fuente N, al aportar un equivalente de 40 kg ha⁻¹ de N para la producción de grano (Muraoka, *et al.*, 2002).

Perín *et al.* (2004), reportaron que, en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria. ochroleuca*, *Mucuna. pruriens*, *Dolichos. lablab*, *C. ensiformis* como abonos verdes y observaron rendimientos de grano de maíz y frijol de un 50 a 60% más altos en comparación con rendimientos obtenidos sin abonos verdes. En Kenia, luego de la incorporación de *M. pruriens*, *C. ensiformis* y *L. purpureus*, se aumentó la producción de grano de maíz de un 35 a 100% en comparación con la aplicación de fertilizante nitrogenado.

En Tanzania, también se reportan incrementos en producción de maíz de 46-130% con el uso de *Crotalaria ochroleuca*. Con mayores producciones en cultivos de maíz (25%), debido al incremento del suministro de N al suelo y la reducción de la pérdida por volatilización (Urquiaga, 2001).

En Colombia existen experiencias con el uso de abonos verdes como las realizadas en suelos fértiles del Valle del Cauca, en los suelos de baja fertilidad de los llanos de Colombia y en los suelos de moderada fertilidad del Caribe seco. Por ejemplo, en Valle del Cauca, se evaluaron como abonos verdes las leguminosas *Cajanus cajan* y *C. ensiformis*, las gramíneas (Pasto estrella y Maíz) y una cucurbitácea (*Cucúrbita moschata*) (Dos Santos,*et al.*, 2009).

El valor de los abonos verdes como vía para el suministro de nitrógeno ha sido reconocido por los agricultores. Este efecto consiste fundamentalmente en el aporte de N₂ de las leguminosas, en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, movilización de otros nutrimentos y la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Dos Santos,*et al.*, 2009).

Guerra y López (2008), plantean ‘que el empleo de leguminosas como abonos verdes en las rotaciones de cultivos es de gran impacto, ya que este tipo de plantas promueven el aporte de N₂ al suelo gracias a la FBN. Esto reduce, e incluso, puede eliminar la necesidad de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

La utilización de abonos verdes en los esquemas de rotación y secuencia de cultivos es una práctica que se ha ido incrementando en diversos lugares del mundo (García y Acosta, 2009), no solo en lo relacionado con los aportes de nitrógeno al sistema, sino por ventajas derivadas del aumento de la actividad biológica del suelo, los aportes de carbono, la fácil descomposición de las leguminosas utilizadas con esta finalidad, entre otros aspectos.

En Cuba, diferentes autores han demostrado la factibilidad del empleo de leguminosas como abonos verdes en rotación en cultivos económicos como el arroz, la papa, la calabaza y otros, faltando aún investigaciones que contengan desde el conocimiento de las especies más adaptadas hasta su incorporación final a los sistemas agroproductivos de una amplia gama de cultivos agrícolas, cuya repercusión en los rendimientos posteriores y en el mejoramiento del suelo por un proceso natural tendrá una respuesta favorable (Hernández,*et al.*, 2009).

Cuba se propone los abonos verdes como una tecnología necesaria a emplear en el manejo del suelo con vista a sustituir los insumos inorgánicos, debido a la factibilidad que presentan los mismos en

la mejora y nutrición de los suelos, además de la disponibilidad y reservas que deja en el suelo en el periodo de establecimiento. Los resultados de años dedicados a la investigación en esta temática han aportados suficientes criterios científicos y técnicos que justifican la aplicación y uso de abonos verdes, aunque continúen investigaciones que profundicen en la misma y faciliten nuevos criterios, de igual forma son muchos los criterios de aplicación práctica de esta tecnología por parte de los campesinos con resultados satisfactorios (Sánchez,*et al.*, 2010).

En Cuba se han efectuado trabajos recientes que abordan, tanto el efecto de diferentes especies de abonos verdes en la multiplicación de propágulos de Hongos Micorrízico Arbusculares (HMA) en el suelo y el establecimiento de la simbiosis en el cultivo posterior. Precisamente, uno de los retos dentro de la agricultura sostenible, es garantizar un suministro adecuado de nutrientes para asegurar altos rendimientos, por lo que el empleo de los abonos verdes, su inoculación con cepas eficientes y su integración con el manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, se destacan por sus posibilidades y beneficios, dada la importancia de la conservación del medio ambiente (Martín y Rivera, 2015).

1.2 Los Hongos Micorrízicos Arbusculares y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

La microbiota realiza una serie de funciones claves para mantener la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales en el planeta, puesto que actúa como una proveedora de nutrientes que son absorbidos por las plantas. Diversos hongos del suelo desarrollan actividades que benefician la nutrición y salud de las plantas, tanto en ecosistemas naturales como en agricultura. Un grupo destacado de tales hongos beneficiosos son los que establecen asociaciones simbióticas (del griego “vida en común”) con las plantas, conocidos como micorrizas, del griego mikos, hongo, y rhiza, raíz (Van der Heijden,*et al.*, 2008).

El hongo coloniza las raíces, sin causar daño alguno a la planta y posteriormente desarrolla una red de hifas externas que se extienden y ramifican en el suelo. Esta relación puede tener una alta incidencia en la estabilidad de ecosistemas donde las condiciones edáficas son extremas (Martínez y Pugnaire, 2009).

En este sentido, la micorriza es una simbiosis mutualista que tiene como función aumentar la superficie de absorción de la raíz, por medio de un sistema de hifas extrarradicales. 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 (Barrer, 2009).

Múltiples estudios alrededor del mundo han enfocado las micorrizas arbusculares en el área de la agricultura sostenible como un mecanismo para mantener cultivos comerciales eficientes y sostenibles. Dentro de los beneficios más visibles de la formación de la micorriza arbuscular, 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 (Montaño *et al.*, 2009). Adicionalmente, se sabe que la producción de fitohormonas por parte del hongo mejora la estructura del suelo, favorece la resistencia a plagas y a la sequía.

En el suelo, el micelio de los hongos micorrízicos arbusculares 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 (Ruiz *et al.*, 2011), por tal razón, los efectos a nivel edáfico son claves para el mantenimiento de la diversidad vegetal y de los microorganismos del suelo, para la productividad y para la restauración de ecosistemas perturbados.

A las micorrizas se les atribuye el incremento de la resistencia al estrés abiótico como sequedad y toxicidad por metales, ya que estimulan el engrosamiento de la pared celular y producen un aumento en compuestos fenólicos, clorofila, arginina y citrulina. Se cree que, a nivel genómico, hay secuencias de aminoácidos que codifican para la expresión de proteínas homólogas a las metalotioneínas, que les permite a hongos como *Gigaspora rosea* la captura de metales pesados (Guzmán y Farías, 2005). Dentro de la diversidad de estos hongos, se ha podido determinar que las micorrizas arbusculares se encuentran ampliamente distribuidas por los trópicos, en el 80 % de las plantas vasculares; en menor medida, las ectomicorrizas se hallan entre el 17 y 31 % de las plantas (Peña, *et al.*, 2006).

La relación entre la abundancia de Hongos Formadores de Micorrizas (HFM) y las características fisicoquímicas del suelo se han estudiado con frecuencia, especialmente en concentraciones de fósforo, determinando la funcionalidad de los hongos formadores de micorrizas asociada con la exuberancia de la vida vegetal tropical. Para esto, se avaluó la abundancia de las micorrizas bajo coberturas de bosques y pastos en un paisaje fragmentado en San José del Guaviare. Encontraron que en bosques (*Inga spp.*) estaba la mayor cantidad de especies (con un promedio de 68,9%), seguido de los pastos (*Brachiaria decumbens*) con valores de colonización que alcanzaron el 36,2% (Posada,*et al.*, 2012)).

La aplicación de prácticas sustentables como la agricultura orgánica, donde los hongos formadores de micorrizas están siendo considerados una herramienta de gran potencial cobra cada vez mayor relevancia. El alto costo de insumos agrícolas sumado a la creciente demanda de tecnologías menos agresivas para el ambiente, han incidido en la búsqueda de un manejo ecológico de los Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) como una práctica que permita el desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes, encaminada desde la identificación propia de las especies residentes, hasta el uso de cepas comerciales (Cardona,*et al.*, 2008).

La simbiosis entre el hongo micorrícico y la planta, puede ser utilizada como bioinoculante para reducir la carencia de nutrientes y para participar en procesos de agregación y retención del suelo por medio de mecanismos físicos (producción de micelio) y químicos (producción de sustancias adherentes), con el fin de aliviar los efectos causados por la erosión (Jaime y Rodríguez, 2008).

Las investigaciones sobre el papel de las micorrizas en la calidad del suelo y en la agricultura sostenible se han enfocado, principalmente en zonas templadas. Sin embargo, dado que el funcionamiento de la asociación micorrícica depende de la interacción entre planta-hongo y el ambiente abiótico es, por tanto, necesario evaluar el rol que desempeñan las micorrizas en la fertilidad de los suelos tropicales, ya que existen diferencias entre las zonas templadas y tropicales. En la primera, la agricultura se caracteriza por condiciones de exceso, mientras que, en el trópico por condiciones de acceso, en especial con el macronutriente fósforo, el cual algunas micorrizas solubilizan y aportan a las plantas (Cardoso y Kupier, 2006).

La utilización de HMA puede darse a través del trabajo con especies nativas que, luego de determinar su asociación con una especie vegetal de interés, pueden ser estimuladas para potenciar el crecimiento vegetal. Para obtener esporas de hongos formadores de micorrizas, se pueden emplear cultivos trampa usando una combinación de suelo rizosférico y piezas de raíces, los cuales son usados para crecer plantas hospederas. De esta manera, se consiguen esporas más saludables y más fácilmente identificables, ya que las que se obtienen en campo pueden estar parasitadas o disponibles en menor cantidad (Lopes,*et al.*, 2009).

Peña,*et al.* (2006), evaluaron el nivel de colonización de raíces con HFMA nativos en especies de leguminosas ubicadas en potreros, chagras, rastrojo y bosques. Encontraron que las muestras colectadas en potreros, rastrojo y bosques tenían un mayor porcentaje de colonización que las obtenidas en las chagras, lo que indicó que hay una mayor presencia de micorrizas en áreas naturales no intervenidas. Otra opción de uso agrícola de los HFMA es inocular a las raíces de las plantas hongos previamente seleccionados, a los cuales se les conoce su manejo por prácticas agronómicas empleadas con anterioridad; no obstante, puede darse una competencia con hongos micorrízicos nativos que puede alterar su actividad microbiológica y llegar a reducir su eficiencia (Barrer, 2009).

Autores como Rodríguez,*et al.* (2011) y Ruiz,*et al.*, (2011) refieren de la importancia de la selección y manejo de los inóculos desde la fase de vivero, para que las plántulas in vitro sean lo suficientemente fuertes y posteriormente se pueda aumentar la supervivencia, calidad y crecimiento de las plantas en campo. Esta efectividad de inoculación, puede conocerse a través de la cuantificación del porcentaje de colonización del hongo en la raíz y por la determinación de las características morfológicas del mismo.

Arcos (2004) realizó un estudio dentro las comunidades indígenas del Trapecio Amazónico para determinar la abundancia de las micorrizas en plantas de importancia alimenticia para la población como yuca dulce y yuca brava (*Manihot esculenta*), maíz (*Zea mays*), piña (*Ananas sp.*) y plátano (*Musa sapientum*). Las variedades de yuca evaluadas siempre reportaron colonización de micorrizas entre 30 y 52% y se encontraron esporas de los géneros *Glomus*, *Gigaspora* y *Acaulospora*, siendo el *Glomus* el de mayor frecuencia y distribución.

Las comunidades locales a través del conocimiento tradicional pueden aportar para la generación de nuevas formas de saber sobre sistemas productivos, ya que históricamente han podido transformar y mantener el entorno natural (García y Acosta, 2009). Asimismo, se logra apuntar a nuevas formas de desarrollo enfocado a actividades productivas complementarias a las prácticas económicas tradicionales, con la implementación de tecnologías orgánicas como las micorrizas. Esto permite un diálogo de saberes que puede constituirse en un mecanismo “acelerador de oportunidades y capacidades dentro de una estrategia de desarrollo sostenible” (Gainza y Bernal, 2008).

En este sentido, existen estudios Castro (2016), que han evaluado la abundancia de HFMA asociados a plantas específicas, con el fin de determinar su grado de afinidad e incidencia. Es importante resaltar que el uso sostenible del suelo para cultivos debe tener como base una aproximación de la estructura y dinámica de la vegetación natural (Corrêa *et al.*, 2010), por lo que estas investigaciones sirven como punto de partida para determinar la potencialidad de las micorrizas en el desarrollo de proyectos de agricultura sostenible.

Debido a lo anterior, es necesario dar paso a prácticas sustentables como la agricultura orgánica en donde los hongos formadores de micorrizas están siendo considerados como una herramienta de gran potencial por los resultados alcanzados en diferentes investigaciones, y la producción comercial de diferentes inóculos potenciales (Cardona *et al.*, 2008). El alto costo de insumos agrícolas sumado a la creciente demanda de tecnologías menos agresivas para el ambiente, han incidido en la búsqueda de un manejo ecológico de los HFMA como una práctica que permita el desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes (Peña, *et al.*, 2006).

De igual forma, las poblaciones campesinas e indígenas pueden emplear tecnologías de producción que involucren el aprovechamiento del recurso por medio del uso potencial de las micorrizas nativas como bioinsumos. Esto les permite a las comunidades mantener las condiciones naturales propias de los ecosistemas, así como mejorar la calidad nutricional de pasturas y especies de importancia alimenticia de la región (Acosta, *et al.*, 2008), de igual forma señalan la necesidad de plantear estrategias para sistemas productivos sostenibles, en las que se fusione la economía de

mercado y manejo ambiental convencional con la economía y manejo ambiental indígenas, en lo que el autor denomina un “diálogo intercultural”.

El verdadero uso sostenible del suelo para cultivos debe enfocarse en aplicar las micorrizas arbusculares articuladas con el conocimiento sobre las unidades de manejo ambiental, acordes con: la tasa de extracción, la capacidad de uso, el acervo cultural de las comunidades locales y la capacidad de autorrecuperación de los ecosistemas. De esta manera, es posible desarrollar proyectos de sistemas productivos sostenibles que se adecuen a las características socioculturales y las condiciones particulares de los ecosistemas (Vieco, 2011).

1.3) *Canavalia ensiformis*, una leguminosa promisoría como abono verde

C. ensiformis, perteneciente a la familia *fabaceae* y originaria del nuevo mundo, antiguamente se cultivaba en América Tropical y formaba parte de la dieta de las personas (Canals, 1976), pero posteriormente se redujo su cultivo, a pesar de las potencialidades que ofrecía su utilización en los países tropicales. Esto se relacionó fundamentalmente con el desconocimiento de los productores de las ventajas de este cultivo para la alimentación animal y su uso potencial como abonos verdes incorporado al suelo como antecesor de otros cultivos de alta demanda

En 1605 por primera vez esta especie se ubicó en América (Brasil específicamente). La primera referencia en Cuba, fue fechada en 1873.

Es una planta herbácea con raíces pivotantes; tallos poco ramificados, glabros, de color púrpura, hasta 10 m de largo, volviéndose duros en la madurez; hojas trifoliadas, folíolos grandes, ovados a elíptico-ovados, muy acuminados en el ápice, hasta 20 x 10 cm, glabros, verdes oscuros, brillantes, venas bien marcadas; inflorescencia colgante, hasta 30 cm de largo con 10-20 flores en abultamientos; flores grandes, 2,5 cm de largo, de color violáceo, rosado o blanco con base roja, cáliz tubuloso con los dientes muy desiguales, estandarte hasta 2.8 cm de largo, quilla recurvada hacia arriba; fruto hasta 30 x 3,5 cm, ensiforme, aplastado, algo recurvado, rostrado, con 2 o 3 costillas longitudinales cerca de la sutura superior, indehiscente; semillas 12-20, oblongas a redondas, algo aplastadas, 21x 15 x 10 mm, lisas, blancas con un hilo largo de color café rodeado

de una zona color castaño (Bunch, 2016).

Su hábito de crecimiento puede ser recto o voluble, en dependencia de la variedad, y existe una gran variabilidad en la producción de forrajes y granos (Carvalho,*et al.*, 2006).

Las especies más conocidas que se cultivan son: *C. ensiformis*, *Canavalia. gladiata*, *Canavalia. brasiliensis* y *Canavalia. obtusifolia*, las dos primeras utilizadas como forraje verde para el ganado y la última como abono verde. Se cultiva como planta anual, aunque hay autores que la llaman bianual y hasta perenne.

La altura de las variedades tempranas es de 80-110 cm y en las tardías 150-160 cm. Cada planta forma entre 5 y 7 tallos laterales, y de 5-12 vainas. En terrenos fértiles y siembras poco densas, este número puede alcanzar hasta 30 y más; en este caso cada planta puede dar hasta dos libras de semilla. Es una especie que requiere humedad del suelo, aunque tolera la sequía.

El contenido de proteína de la semilla se considera alto y varía desde 24,7 hasta 28,8 %. La masa verde es también rica en proteína, sobrepasando a muchas variedades de alfalfa y soya forrajera. Es una especie que no reporta mayores incidencias de plagas y enfermedades. El ataque de algunos insectos con daños muy moderados que no afectan la producción, ha sido citado por diferentes autores, así como también la aparición de virosis, pero sin afectaciones importantes en las plantas y su producción. La época óptima de siembra está entre abril y octubre. El promedio de rendimiento para semilla es superior a las cinco toneladas (Bunch, 2016).

En Cuba, el nombre común de Nescafé está dado por su utilización casera como infusión en sustitución y/o mezclado con café (Roig, 1965). Esta leguminosa posee una alta capacidad de adaptación a las condiciones climáticas, prospera en un rango de temperatura de 14 hasta 27°C, y abarca desde las áreas calientes de zonas templadas hasta las tropicales de alta pluviosidad. Se desarrolla bien en el rango de precipitaciones de 700 a 4 200 mm y es capaz de sobrevivir durante prolongados periodos secos, regulando el potencial hídrico mediante la reducción del área foliar y un gran control de la apertura y el cierre de las estomas.

Se adapta a un amplio rango de condiciones edáficas, crece bien en suelos ácidos (pH 4,3 a 6,8), por lo que puede ser utilizada en casi todos los suelos del país indistintamente, mostrando buen potencial de desarrollo, y su afectación por encharcamiento y salinidad es menor que en otras leguminosas. La siembra puede realizarse todo el año, aunque cuando la floración ocurre en la época de lluvia la producción de granos se reduce considerablemente debido a la caída de las flores y los rendimientos son menores cuando la siembra se realiza al principio de la época de lluvia con respecto al final de dicha época, y consideran que las causas pueden ser la caída de las flores por el impacto de la lluvia, la humedad y la fertilidad del suelo, el fotoperiodo y la oscilación diaria de la temperatura (Nahed,*et al.*, 2013).

C. ensiformis es una leguminosa tropical que promete tener amplios usos en la agricultura, por su capacidad de adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas, la alta germinación y la facilidad de manipulación de su semilla, la posibilidad de siembra y establecimiento, con un mínimo de preparación de suelo, el poco ataque y los escasos daños por plagas y enfermedades. (Cáceres y Delgado, 1995).

Según el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (2012), la Canavalia pertenece a la siguiente taxonomía: Reino Plantae, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Rosidae, Familia Fabaceae, CSub - familia: Faboideae, Tribu Phaseolae, Subtribu Diocleinae, Género Canavalia, Especie Canavalia ensiformis (L.) De Candolle. Nombre científico: Canavalia ensiformis (L.) D. C. Nombre vulgar: Frijol espada, frijol de puerco, canavalia.

Se encuentra distribuida por: Estados Unidos; Antillas Mayores (Cuba, Jamaica, Haití, República Dominicana, Puerto Rico); Antillas Menores (Islas Vírgenes; Guadalupe, Domínica, Martinica, Santa Lucía, Barbados, Granada, Trinidad y Tobago); México, América Central (Guatemala, Honduras Británicas, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Panamá); América del Sur (Colombia, Venezuela, Perú, Argentina, Paraguay, Surinam, Brasil, Bolivia, Guayana Francesa); África (Senegal, Sierra Leona, Liberia, costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Camerún, Sao Thome, Congo, Angola, Egipto, Sudán, Etiopía, Kenya, Tanganyika, Mozambique); Reunión; Mauricio; Asia (India, Burma, Malaya, Singapur, Indonesia, Borneo, Vietnam, China, Filipinas, Japón); Oceanía (Isla Mariana, Isla Carolina, Isla Hawái, Nueva Guinea, Nueva Caledonia); Australia. En Cuba, en

las provincias de La Habana, Ciudad de la Habana y Villa Clara, Beyra, 2004 citado por Carvalho, *et al.* (2006).

Usos: Los granos poseen una alta proporción de aminoácidos esenciales, a excepción de triptofano. Se comen cuando están maduros y las vainas y semillas inmaduras, al igual que las hojas que se consumen como verdura. Además, se puede incorporar en la dieta humana en forma de harina, pastas y galletas. En todos los casos, hay que asegurar un procesamiento adecuado para reducir riesgos de intoxicación. También se usa en productos farmacéuticos.

Es una fuente industrial de lectinas y ureasa. El efecto hematoaglutinante de la concanavalina A es utilizado para la caracterización de tipos de sangre en humanos. La ureasa es una enzima termolábil que cataliza la hidrólisis de la urea. Se extrae de las semillas con el propósito de usarla en laboratorios analíticos como reactivo para determinar las concentraciones de urea. La semilla actúa como repelente muy eficaz para el control de babosas (*Sarasinula plebeia*).

Toxicidad: Las semillas contienen factores antinutricionales, como un aminoácido libre, canavanina, y las proteínas concanavalina A y B. La canavanina es similar al aminoácido esencial arginina y ocasiona la sustitución de éste en las proteínas, lo cual puede ser la causa de su efecto tóxico. Es soluble en agua y, por lo tanto, puede ser lavado mediante remojo de las semillas (Hernández y Hernández, 1996).

La concanavalina A es una lectina con actividad hematoaglutinante; además, interfiere en la capacidad de absorción de nutrientes de los intestinos, ya que destruye las células de la mucosidad intestinal. Los granos requieren remojo prolongado antes de cocerlos. Para disminuir el riesgo de toxicidad, se recomienda eliminar la cáscara, cociendo un poco las semillas, escurriéndolas, quitando la mayor parte de la cáscara y, finalmente, terminando de cocerlas en agua. También se detoxifica por fermentación. Como cobertura puede utilizarse intercalado en café, cacao, coco, cítricos, piña y otros. Se puede asociar con maíz, sorgo y caña de azúcar.

Tiene una alta sensibilidad al fotoperiodo y su tasa inicial de crecimiento es rápida. La biomasa en floración pueda alcanzar de 13,6 – 60 t ha⁻¹ de masa fresca y de 2,5 – 8,4 t ha⁻¹ de masa seca. Como

mínimo, es capaz de fijar 49 kg t ha^{-1} de N derivado de la FBN y acumular en sus tejidos vegetales 57 kg t ha^{-1} de N (Embrapa, 2012).

Se caracteriza por ser poco exigente en condiciones de productividad del suelo para lograr un óptimo desarrollo vegetativo. Tolerar un amplio rango de textura y fertilidad, crece bien en suelos bajos, tropicales, altamente lixiviados, pobres en nutrientes y pedregosos, así como en suelos ácidos y salinos con un rango de pH entre 4,3 - 7,5 (Espíndola, *et al.*, 2009).

Agrotécnia: Al estudiar la profundidad de siembra (0 y 15 cm) y el número de labores en la preparación de tierra, se encontró que aun cuando en los primeros momentos la germinación fue menor (53 vs 72 %) en la siembra superficial, a los 24 días se igualó (80 vs 88 %); mientras que el número de labores no afectó la germinación. En esta investigación se concluyó que se puede lograr un buen establecimiento con laboreo mínimo (rotura y pase de picadora o pase de picadora solamente) y la siembra a voleo con una sembradora-fertilizadora tipo trompo.

En este sentido, se ha señalado que el gran tamaño de la semilla (1 a 1,5 g) y su alta germinación (>90 %) generan plantas vigorosas. por lo que presenta un rápido y fácil establecimiento (Escobar *et al.*, 1983). La siembra puede realizarse todo el año, aunque cuando la floración ocurre en la época de lluvia la producción de granos se reduce considerablemente debido a la caída de las flores. Esto fue confirmado por Martín *et al.*, (2017), quienes plantean que los rendimientos son menores cuando la siembra se realiza al principio de la época de lluvia con respecto al final de dicha época, y consideran que las causas pueden ser la caída de las flores por el impacto de la lluvia, la humedad y la fertilidad del suelo, el fotoperiodo y la oscilación diaria de la temperatura.

Al estudiar varias fechas de siembra (octubre-diciembre) en Venezuela (con y sin riego) de diferentes variedades y localidades, Viera y Ramis, (2014) encontraron variaciones en el rendimiento de granos, frutos y forrajes, el por ciento de frutos maduros y el índice de cosecha; estos autores consideraron que dada la falta de uniformidad en la maduración y por consiguiente la realización de más de una cosecha, es necesario buscar el momento óptimo de siembra que permita la máxima producción. Con el fin de evitar la caída de las flores y la pudrición de los frutos por la lluvia, es recomendable la siembra a mediados de la época de lluvia, para que de esta forma la

planta alcance su ciclo biológico productivo al inicio de la época de menor precipitación, sin la necesidad de utilizar riego o minimizándolo.

Al estudiar varias formas de siembra, Viera y Ramis, (2014) (sobre el camellón, a mitad del camellón, en plano y en surco) utilizando un marco de 80 cm entre hileras y 25 cm entre plantas y una densidad de 50 000 plantas ha⁻¹, obtuvo los mejores resultados en el método de mitad del camellón (3 220 kg de granos ha⁻¹) y en plano (2 609 kg ha⁻¹) en dos cosechas, sin diferencia significativa entre ambos métodos.

Al emplear una combinación de distancia y forma de siembra para la producción de granos, se obtuvieron los mejores resultados (3 584 a 3 763 kg ha⁻¹) en el método de doble surco con separación de 80 cm, 40 cm entre hileras en el doble surco y 20-40 cm entre plantas (Espíndola *et al.*, 2009); el método de doble surco ofrece facilidades para el manejo agrotécnico y cosecha manual en la producción de granos. Por otra parte, Escobar, *et al.* (1983) estudió el efecto del camellón y el envarado sobre la producción de granos y halló que el camellón no tuvo efecto, pero el envarado aumentó la producción.

De lo anterior se deduce que la producción de granos no requiere métodos de siembra complejos, aunque puede ser incrementada con el empleo de tutores o envarado, lo cual pudiera ser utilizado cuando se desee producir semilla de alta calidad, puesto que esto dificultaría la mecanización de la cosecha de granos y forrajes. La asociación con leucaena permitió alcanzar resultados satisfactorios en el establecimiento y el rendimiento de materia seca de la leucaena (2,8 t ha⁻¹ corte), así como la competencia de malezas (Embrapa, 2012), lo cual coincide con las experiencias desarrolladas en la EEPF “Indio Hatuey” con leucaena y Albizia lebbeck.

Manrtin *et al.*, (2017), encontró que la producción de granos no fue afectada significativamente al asociarla con yuca (*Manihot sculenta*), pero sí la producción de raíz de esta última; además planteó que dada la baja densidad de la Canavalia y por consiguiente el poco sombreado, esto posiblemente se deba a un efecto alelopático sobre la yuca, ocasionado por alguna sustancia tóxica producida por la canavalia. Los resultados indican que la producción total por área fue superior en la asociación a la de cualquiera de los cultivos puros, lo cual es de suma importancia.

Aunque no se ha hallado suficiente información, los resultados son alentadores, por lo que puede tener buenas perspectivas el cultivo asociado con canavalia, por las ventajas y las producciones suplementarias que se pudieran obtener con este método, tal como se ha logrado con otras leguminosas, cuestión que debe ser estudiada más ampliamente.

Al estudiar el efecto de dos densidades (31 250 y 62 500 plantas ha^{-1}) sobre la producción de forraje. Escobar,*et al.* (1983), encontraron el mayor rendimiento de materia seca (20,76 t ha^{-1}) a los 150 días con la más alta densidad, lo cual fue ratificado por otros autores al obtener resultados muy similares en iguales densidades. Viera y Ramis (2014), al variar la densidad y la distancia entre hileras, pero no la distancia entre plantas, obtuvieron el más alto rendimiento de materia seca (12 898 kg ha^{-1}) con el marco de siembra de 100 x 20 cm, equivalente a 50 000 plantas ha^{-1} .

En cuanto a la producción de granos, Embrapa, (2012) encontraron que en un marco de siembra de 60 x 50 cm y una densidad de 33 000 plantas ha^{-1} se lograron altos rendimientos (6 910 kg ha^{-1}) entre cosechas: mientras que Bustamante *et al.*, (2010), al estudiar diferentes densidades y arreglos espaciales, halló los mayores rendimientos en las densidades intermedias (50 000 plantas ha^{-1}) y la distancia entre hileras de 80 cm; no hubo diferencias entre los arreglos espaciales a igual densidad y las malezas disminuyeron con las densidades más altas.

En un estudio de densidades que fueron variadas por las distancias entre hileras y entre plantas, las mayores producciones de granos se alcanzaron con la densidad de 80 000 plantas ha^{-1} (10 977 kg ha^{-1}) en el marco de siembra de 50 x 25 cm y no hubo efecto de la distancia entre hileras, que varió desde 50 hasta 125 cm.

Martín,*et al.*, (2017), al estudiar el efecto de la densidad, los herbicidas y el control manual sobre las malezas y la producción, encontraron que los herbicidas fueron efectivos, pero el control manual aportó mejores resultados: mientras que el incremento de la densidad (100 000 plantas ha^{-1}) tuvo una mayor efectividad en el control de las malezas y los mejores resultados en producción.

Al comparar variedades erectas y volubles en dos distancias de siembra, Viera y Ramis, (2014), observaron los mejores resultados en producción de granos y forrajes en la distancia de 40 cm entre plantas y no se observaron diferencias entre los hábitos de crecimiento; sin embargo, Martín *et al.*, (2017), emplearon marcos de siembra de 100 x 25 cm (40 000 plantas ha⁻¹) cuando compararon variedades erectas y volubles y obtuvieron rendimientos de granos de 6 846 y 8 496 kg ha⁻¹ respectivamente, aunque recomendaron las erectas para la producción de granos y las volubles para el corte integral, por las dificultades para cosechar granos en estas últimas.

Viera y Ramis, (2014) hallaron que las densidades de siembra (25 a 100 000 plantas ha⁻¹), la frecuencia de riego (cada 1,203 semanas) y la fertilización nitrogenada (0 a 100 kg ha⁻¹), hicieron variar la producción de frutos (983 a 4 850 kg ha⁻¹), granos (675 a 2 818 kg ha⁻¹) y de forraje post-cosecha (5,4 a 13,3 t MS ha⁻¹); existió interacción entre densidad y frecuencia de riego y las mayores producciones de frutos y granos se alcanzaron con la menor frecuencia de riego en la densidad de 50 000 plantas ha⁻¹ y con la mayor frecuencia en la de 100 000 en todos los niveles de nitrógeno.

La altura de corte fue estudiada por Martín,*et al.*, (2017), quienes encontraron que el corte a 5 cm del suelo produjo los mejores resultados, pues obtuvieron el mayor porcentaje de rebrotes (84 %) a los 35 días. Este autor recomienda el corte bajo el cual permite un mejor rebrote y facilita la cosecha mecanizada de granos.

Espíndola,*et al.*, (2009) hallaron que la producción de forraje es superior cuando se comienza a cosechar a los 3 meses de edad y las cosechas se realizan cada 3 meses; mientras que la máxima producción de granos se alcanza a los 9 meses cuando no se corta la planta, por su parte Embrapa, (2012) señalan que existen muy pocas variaciones en la producción de semillas, entre los 150 y 180 días, por lo que se puede cosechar en cualquier momento en este intervalo de 30 días, pues no ocurren afectaciones en la producción.

Autores como Baltasar (1991), Skerman,*et al.*, (1991) y García,*et al.*, (2000), citados por Díaz, *et al.*, (2013) plantearon que las siembras de leguminosas a mediados y finales de la estación lluviosa son más favorables para la obtención de granos, ya que las plantas pueden avanzar y crecer durante

una parte de su ciclo con abundante agua y madurar sus frutos en época poco lluviosa. Esto ayuda a evitar la pudrición de las vainas y a disminuir la desigualdad en la maduración de las semillas.

Dentro de las leguminosas tropicales *C. ensiformis* promete amplios usos en la agricultura, por su capacidad de adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas, la alta germinación y la facilidad de manipulación de su semilla, la posibilidad de siembra y establecimiento, con un mínimo de preparación de suelo, el poco ataque y los escasos daños por plagas y enfermedades, su alto potencial en forraje y granos, la poca exigencia en agua fertilizantes y su alto valor nutritivo.

Resulta también un cultivo de fácil manipulación y acarreo dentro de las áreas de producción. Los campesinos refieren un alto potencial de aporte de hojarascas y material muerto al suelo, independientemente de una alta relación hoja tallo. Esto favorece las condiciones del suelo y facilita una mayor retención de humedad (Martín,*et al.*, 2017)

C. ensiformis presenta además la ventaja de la variabilidad genética que posee, lo cual permite su utilización en diversas condiciones y el trabajo de mejorar sus desventajas, tales como su desuniformidad en la maduración y su toxicidad para los no rumiantes. Se consideran otras perspectivas en su uso, tales como: mejoradora del suelo a través de la fijación del nitrógeno, Abono verde, protectora antierosiva, alta productora de semillas, asocio con otros cultivos (Viera y Ramis, 2014).

A modo de cierre del capítulo, tener en cuenta que para un mejor cultivo y uso de la *C. ensiformis* (L.) como abono verde, es importante conocer que la fijación de nitrógeno, mineralización de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación y la amonificación, son procesos muy importantes en el ciclo del nitrógeno en el suelo. Se parte de unas entradas vía fijación biológica de nitrógeno (FBN), fijación vía tormentas, deposición de heces y fertilización química de síntesis. En este proceso el N orgánico se mineraliza a NH_4 que luego es nitrificado a NO_3 que es la forma más asimilable por las plantas (Paredes, 2013).

El proceso inverso equivale a la inmovilización, donde el N puede quedar en la forma orgánica no disponible para plantas, y la nitrificación es el proceso que domina el ciclo del N en los sistemas

agrícolas, inclusive con leguminosas como abonos verdes, donde el NO_3 representa más del 95 % del N tomado por las plantas, haciendo que el ciclo sea algo ineficiente, dado que gran parte se pierde como lixiviado o por desnitrificación, generando NO y N_2O en emisiones atmosféricas asociadas a gases que ocasionan calentamiento global (Salamanca,*et al.*, 2006).

La asociación mutualista de rizobios y leguminosas ha sido desde siempre la más estudiada por la importancia agronómica, económica y social que tiene el cultivo de estas plantas a escala mundial. Ambos partícipes son capaces de vivir independientemente, sin embargo, los dos se benefician mutuamente de la interacción que se caracteriza por la formación de nódulos fijadores de nitrógeno que, en la mayoría de las leguminosas, se forman en la raíz. Los nódulos son órganos especializados que se desarrollan como resultado de un diálogo molecular por parte de los rizobios y de las plantas (Gibson,*et al.* , 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, suelo y clima.

La investigación se realizó en la finca Maripa, perteneciente a la UBPC Agricultura Urbana del municipio de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, la cual posee una superficie de 5,40 ha, de ellas 3,40 ha dedicadas a cultivos varios y 2, 00 ha para pastos y forrajes.



Figura 1. Finca “Maripa”, ubicación georeferencial. Fuente: Ojeda, (2022).

El suelo predominante en el área de la finca pertenece al agrupamiento Pardos Sialíticos que son suelos de perfil ABC, de mediano a poco profundos, formado sobre cualquier tipo de roca. Ellos se forman por el proceso de sialitización que conlleva a la formación de un horizonte principal síalico. Dentro del grupo se separan dos Tipos genéticos de suelos; Pardos, formados sobre cualquier tipo de roca excepto los que están formados sobre roca ígnea ácida que corresponden con el tipo genético Pardo Grisáceo (Hernández *et al.*, 2015).

Algunas características del suelo en el campo “La Arboleda”, donde se realizó el experimento indican un pH de 5,61, Materia orgánica 1, 92 %, Reserva de carbono 109,48 mg ha⁻¹, Fosforo asimilable (P₂O₅), 0,31 mg 100 g⁻¹ de suelo y una Densidad aparente de 1,67 g cm⁻³.

Diseño, procedimiento y muestreo.

El experimento transcurrió entre el 20 de noviembre del 2022 y el 4 de febrero del 2023. La pluviometría se refleja en la Figura 3. La densidad de plantación fue de 0.50 m x 0.15 m, que representan 133,333 plantas por hectárea.

Las parcelas experimentales con un área de 6 m², distribuidas en cuatro surcos de 3 metros de largo y 2 de ancho. Hubo separación de 1 m entre réplicas y de 0.50 m entre parcelas. El área evaluable comprendió los dos surcos centrales, con descarte de bordes, para un total de 1,5 m² y un total de 40 plantas evaluadas.

Al área de intervención se le realizó una preparación del suelo con tracción animal. La semilla utilizada fue de canavalia blanca, con un Valor Agrícola de 94%. El área previa al experimento se encontraba en barbecho. Durante todo el ciclo del cultivo se tuvo en cuenta la presencia de plagas y enfermedades.



Figura 2. Preparación del área con tracción animal y conformación de las parcelas. Fuente: Ojeda, (2022).

Se estudiaron tres niveles del factor inoculación de Rhizobium (tres cepas más un tratamiento sin inoculación) y tres niveles del factor coinoculación Rhizobium + micorrízica (ECOMIC® + las cepas de Rhizobium, y un testigo sin inoculación), para un total de ocho tratamientos. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo bifactorial y cuatro repeticiones.

Los tratamientos se identificaron como sigue:

1. Azofert-Can 2
2. Azofert-Can 3
3. Azofert-Can 5
4. Azofert- Can-Testigo Rhizobium
5. Azofert Can 2+ECOMIC®
6. Azofert Can 3+ECOMIC®
7. Azofert Can 5+ECOMIC®
8. ECOMIC®-Testigo

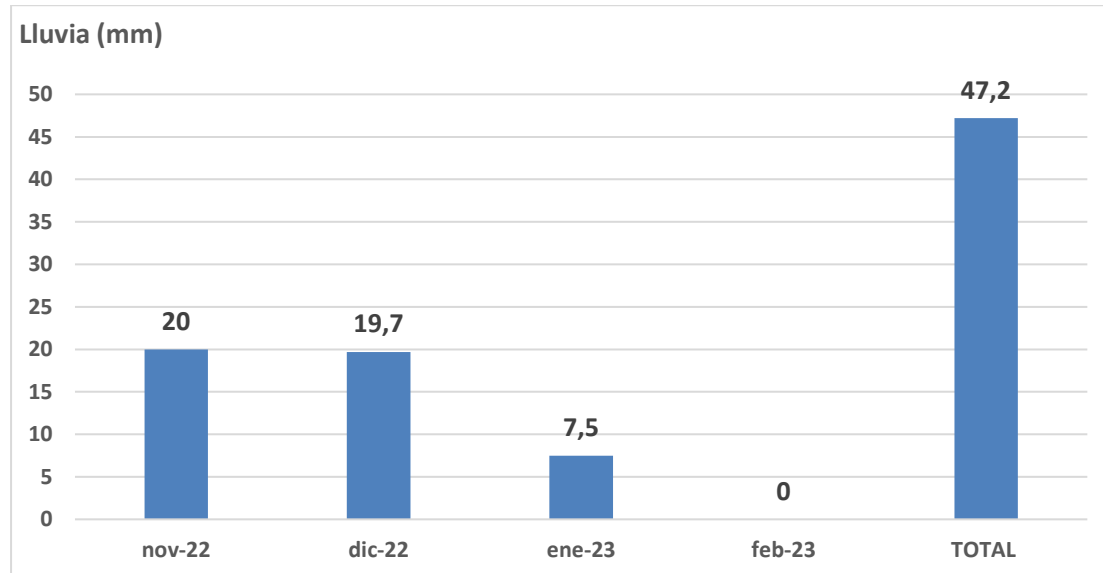


Figura 3. Registro pluviométrico durante el período experimental. Fuente: Ojeda, (2022).

Como inoculante micorrízico se empleó el producto comercial Ecomic®, un Biofertilizante a base de cepas puras de Hongos Micorrizógenos del Género *Glomus*, producto no tóxico y libre de patógenos, producido por primera vez en 1999 por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) La Habana, Cuba, con Patente No 22641 y Licencia de Seguridad Biológica No 11/01, formulado como polvo fino de acuerdo con Fernández *et al.* (2000). En este caso de estudio fue un inóculo sólido, certificado, que contenía 30 g esporas⁻¹ en 100g sustrato⁻¹.

Las cepas de rhizobium evaluadas resultaron: Can 2, Can 3 y Can 5, obtenidas por Hernández *et al.* (2012) en concentración de 1×10^8 UFC g⁻¹ como inoculante bacteriano para *C. ensiformis*, pertenecientes a la colección de cepas de rizobios del Laboratorio de Microbiología del INCA.



Figura 4. Semilla de canavalia y los biofertilizantes: Azofert y ECOMIC. Fuente: Ojeda, (2022).

La dosis de aplicación recomendada para las cepas de rhizobium fue de 250 ml cada 50 kg de semilla en imbibición, mientras que el ECOMIC® se aplicó a razón de 10 g por semilla de forma peletizada. Las semillas se mojaron primeramente con agua azucarada y posteriormente se les aplicó cada cepa de *Rhizobium*, después se procedió a la inoculación con los HMA mediante una mezcla homogénea, se secaron a la sombra durante 15 min y posteriormente se sembró (Rivera *et al.*, 2007).

Mediciones realizadas

Objetivo 1: Determinar la producción de biomasa y el aporte de NPK que ofrece al suelo *C. ensiformis* (L.) inoculada con diferentes cepas de rhizobium y ECOMIC®.

a) Biomasa fresca o verde

El momento de corte de la canavalia fue en la fase de floración (75 días). Para la evaluación se tomaron todas las plantas de los dos surcos centrales y se cortaron con tijera a 15 cm sobre el suelo y se pesaron con dinamómetro digital. El muestreo en el área evaluada se realizó pasada las 9.00 am para disminuir el efecto del rocío en las plantas.

Biomasa verde (t ha⁻¹) = Masa verde (kg parcela⁻¹) / Área evaluada (m²) x 10

Producción de Biomasa seca

Biomasa seca (t ha⁻¹) = $\frac{\text{Masa verde (kg parcela}^{-1}) \times \text{Materia Seca (\%)}}{\text{Área evaluada (m}^2) / 10}$



Figura 5. Vista del área en el momento del corte y pesaje de la masa verde fresca. Fuente: Ojeda, (2022).

b) Aportes de NPK al suelo (kg ha⁻¹), de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

a) Aporte de Nitrógeno = (Biomasa seca (kg ha⁻¹) x % de N en tejido foliar) /100

b) Aporte de Fósforo = (Biomasa seca (kg ha⁻¹) x % de P en tejido foliar) /100

c) Aporte de Potasio = Biomasa seca (kg ha⁻¹) x % de K en tejido foliar) /100

Para estimar los aportes de NPK se tuvo en cuenta la cantidad de macronutrientes esenciales en la composición de *C. ensiformis* referida por Calegari y Peñalva (1994) y citada por Barbazán *et al.*, (2001), que plantean un contenido foliar de 2,49 % de nitrógeno, 0,15 % de fósforo y 5,62 % de potasio, así como 21 % de materia seca. Para corregir el porcentaje de fósforo y potasio a formas asimilables (P₂O₅ y K₂O) el valor obtenido se multiplicó por 2,29 y por 1,29 respectivamente.

Objetivo 2: Constatar la presencia de nódulos de rhizobium en las raíces de *C. ensiformis* (L.) inoculada con diferentes cepas de rhizobium y ECOMIC.

La evaluación de los nódulos de las raíces se realizó en el momento del corte, según Somasegaran y Hoben, (1994) para lo que se cortó con una pala una sección de suelo, a no menos de 15 cm alrededor de la planta, y 20 cm de profundidad. La misma se llevó a cabo dos semanas antes de la floración. Para la valoración del tipo de nodulación radical, abundancia, se tuvieron en cuenta los aspectos siguientes:

1. Abundancia: Cantidad de nódulos en las raíces.
2. Forma: Pueden encontrarse esféricos, alargados o ramificados.
3. Tamaño: y en su tamaño de 0,5 a 50 mm de diámetro. Se destacan siempre de las raíces (Se tomaron en cuenta las medidas (mm): 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 y 6.0 mm.
4. Color:
 - Nódulo vivo y activo varía de rojo claro a rojo oscuro, su consistencia es firme y al abrirlo, sus tejidos liberan una savia de color rojo.
 - Nódulos con coloración roja a rosada no siempre son activos, pero tienen mayor probabilidad de serlo.
 - Nódulos vivos con una coloración interna verde o blanca son inactivos.
 - Nódulos muertos tienen una consistencia esponjosa y coloración interna oscura o negra.

La evaluación del color interno se hizo en el campo debido al rápido deterioro de los colores de los nódulos una vez extraídos del suelo, para ello se empleó un bisturí de corte y una lupa que permitió observar con nitidez el interior del nódulo.

5. Localización: Para describir este parámetro depende de las especies hospedantes y de las condiciones ambientales. En ciertas condiciones, los nódulos se hallan muy alejados de la raíz principal y de la corona, algunos se encuentran a considerable profundidad, mientras que otros se localizan, en su mayor parte, en las raíces laterales. Sin embargo, en la mayoría de las leguminosas de uso agronómico los nódulos se encuentran cerca de la raíz principal. Nunca se debe arrancar la planta para extraerla del suelo porque es muy probable que así se rompa la frágil ligazón que une los nódulos a las raíces y gran parte de aquellos quedaran dentro del suelo con errores en la cuantificación de los mismos. El análisis y la tabulación de los nódulos se realizó de acuerdo a los códigos que se expresan en la Figura 6.

PARAMETROS PARA LA EVALUACION DE LA NODULACION									
ABUNDANCIA		TAMANO PREDOMINANTE		NODULACION EN LA RAIZ PRINCIPAL		COLOR PREDOMINANTE			
	Cat.				Cat.		Cat.		Cat.
Más de 100	4			Predominante	3	Negro	9	Rojo y Verde	4
50 - 100	3			Regular	2	Rojo	8	Rojo y Negro	3
10 - 50	2			Nulo	1	Verde	7	Marrón y Verde	2
1 - 10	1	No Predominante; 1				Blanco	6	No Predominancia	1
0	0	Sin Nódulos; 0		Sin Nódulos	0	Marrón	5	Sin Nódulos	0

Figura 6. Códigos para el análisis y la tabulación de la nodulación.

Análisis estadísticos:

Todos los caracteres cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por lo cual se procedió a efectuar un ANOVA como block al azar y posteriormente excluyendo al testigo se hizo un análisis bifactorial para conocer el efecto de ambos factores y su interacción). El paquete estadístico utilizado fue el Statgraphics Centurion XVII. Las medias se compararon mediante la prueba de Duncan (1955) con significación del 5 % en los casos en que el ANOVA resultó significativo.



Figura 6. Área experimental en Finca Maripa. Fuente: Ojeda, (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 7 muestra la producción de masa verde de *C. ensiformis* en el corte previo a su incorporación al suelo. Se observa como el tratamiento Azofert-Can 2 + ECOMIC (17,75 t ha⁻¹) produjo la mayor cantidad de masa verde, sin diferencias estadísticas de Azofert-Can 3 + ECOMIC (16,25 t ha⁻¹). Este último no difirió del resto de los tratamientos, con excepción de Azofert-Can 5 que tuvo la menor producción de masa verde, estadísticamente diferente a todos.

De manera general, hubo una tendencia en la coinoculación de los microorganismos superior a la aplicación por independiente. Destacar que hubo un efecto superior del rhizobium nativo (Tratamiento-4) en relación al Azofert-Can 5, lo que pudo indicar la presencia de cepas nativas activas de rhizobium en las condiciones del área evaluada.

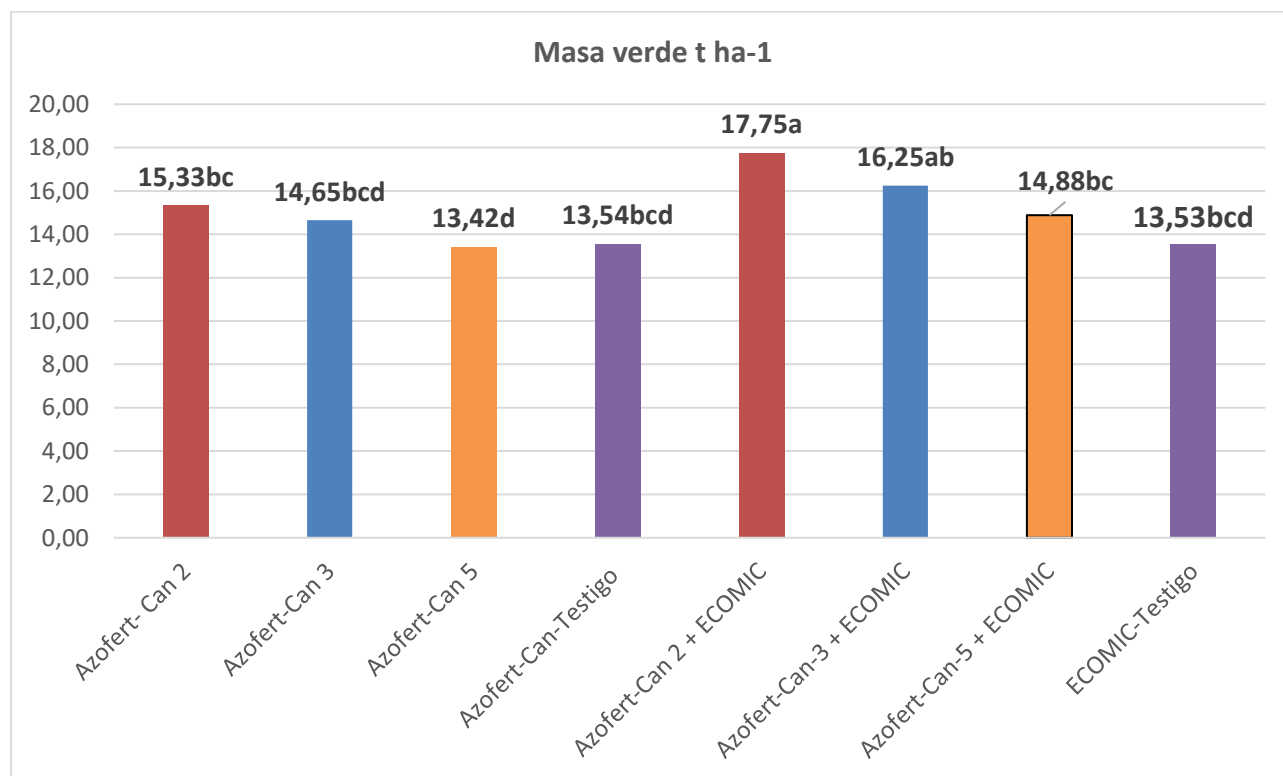


Figura 7. Cantidad de masa verde en el momento del corte

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Duncan ($P \leq 0,05$) $ES \pm 0,126$.

El efecto positivo y significativo de la doble inoculación se puede explicar en gran medida por la cooperación entre ambos microorganismos responsables de las simbiosis, efectos de fitohormonas producidas por enzimas pécticas que debilitan la pared celular de la planta hospedadora, y por la producción de polisacáridos extracelulares de los rizobios que incrementan la permeabilidad celular y radicular necesarios para la formación de MA estimulando su penetración en la raíz (Azcón *et al.*, 1991)

Si bien, los resultados de masa verde alcanzados no son altos, según lo planteado por Ángel (2008), en estudios de campo, que encontró producciones de biomasa verde de canavalia entre 40-50 t/ha de material verde, pudo apreciarse el efecto favorable del incremento de biomasa en relación al Testigo con el uso de los microorganismos, lo que permite disponer de estas alternativas para los productores.

Los incrementos que provoca la coinoculación de Rhizobium y Micorrizas en las variables de crecimiento evaluadas en otros cultivos, demuestran la capacidad del cultivo del frijol de formar doble simbiosis Rhizobium-Hongos Micorrízicos Arbusculares. En tal sentido Mosse (1980) y Allen (1981), citados por Martín *et al* (2015), plantean que la mayoría de las leguminosas son capaces de formar doble simbiosis Rhizobium-endomicorriza VA, lo cual puede explicar en parte la buena adaptabilidad de diversas especies de esta familia en suelos marginados, como ocurre con la canavalia que es bien utilizada como cultivo de cobertura e incorporación de abono verde al suelo.

La Figura 8 muestra la producción de biomasa seca obtenida en los diferentes tratamientos. Respecto a este indicador, la misma mantuvo una tendencia similar a la biomasa verde, aunque evidentemente con una disminución marcada de la masa, propio de la pérdida de agua, una vez extraída para el análisis de laboratorio.

Se aprecia que la variante coinoculada con rhizobium y micorrizas Azofert-Can 2 + ECOMIC® (3,73 t ha⁻¹) mostró la mayor cantidad de biomasa seca, sin diferencias estadísticas de Azofert-Can-3 +ECOMIC® (3,41 t ha⁻¹). Este último no difirió de las variantes: Azofert- Can-2,

Azofert- Can-5 +ECOMIC® Testigo y Azofert Can Testigo. Por su parte, estos tres últimos no difirieron de Azofert Can-3, que no difirió del Azofer Can-5, con el menor resultado (2,70 t ha⁻¹).

En cuanto a los rizobios, son rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR, por sus siglas en inglés), muchas de ellas diazotróficas, que se han estudiado por su capacidad de establecer una relación simbiótica con las plantas leguminosas, a partir de la cual la planta se beneficia del nitrógeno fijado por la bacteria y esta utiliza los carbohidratos provenientes de la fotosíntesis, que produce una mejoría en los indicadores agronómicos de los cultivos a los que se asocia (Douxchamps *et al.*, 2014).

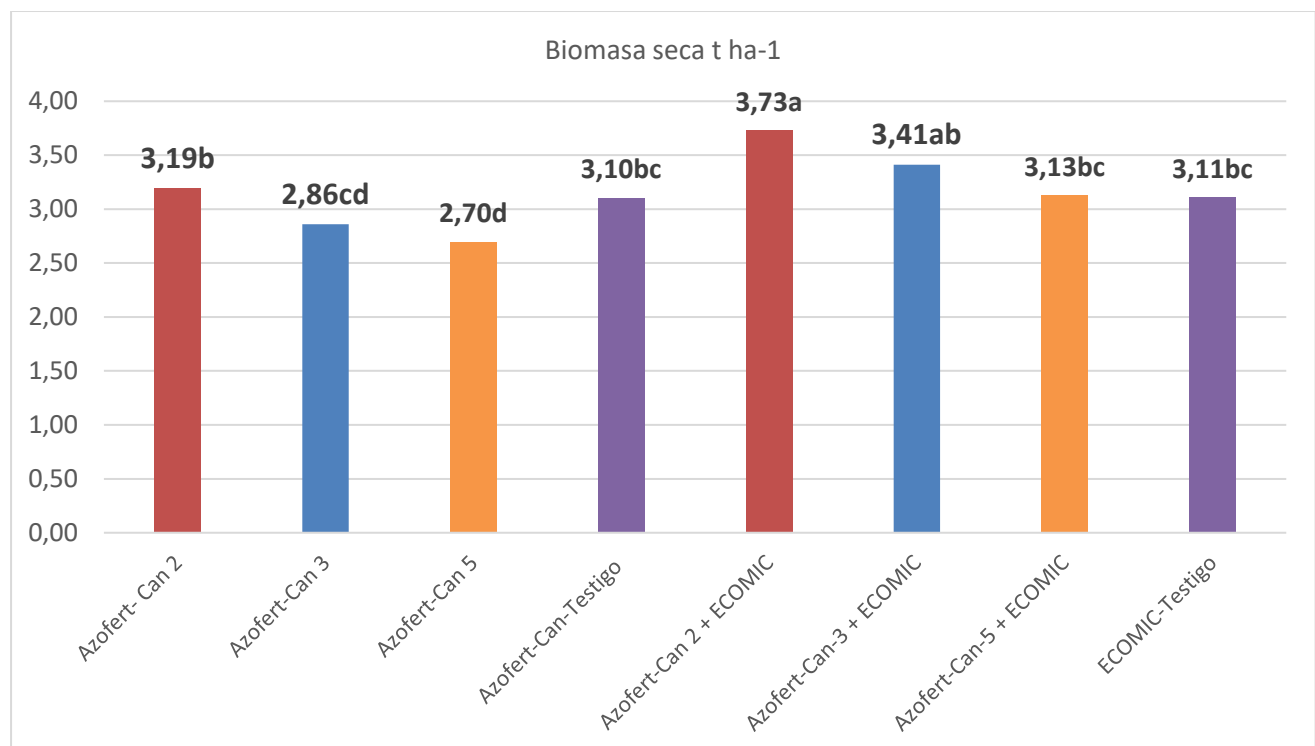


Figura 8. Producción de biomasa seca a incorporar al suelo

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para $P \leq 0,001^{***}$ (Duncan, 1955). $ES \pm 0,137$.

Rivera *et al.*, (2007) evaluó condiciones de producción de la Finca “El Porvenir” en un suelo Pardo Grisáceo, perteneciente a la UBPC “Tabloncito” en el municipio de Cumanayagua durante los años café con el objetivo de su incorporación al suelo como abono verde. Es necesario destacar que estas

plantaciones recibieron riego de agua de forma periódica hasta el momento del corte del follaje. Se produjo mayor cantidad de biomasa seca en el tratamiento de área compacta, que cuando estuvo intercalada dentro del cafeto. La producción de biomasa en ambos casos fue de 14,73 y 13,85 t ha⁻¹ respectivamente. Este resultado indica la importancia del suministro de agua durante el ciclo del cultivo para lograr mayores incrementos de biomasa.

Por otra parte, Ojeda *et al.*, (2018), al evaluar también en un suelo Pardo Grisáceo bajo condiciones de secano el efecto de las cepas de HMA: *F. mosseae*, *G. cubense* y *R. intraradices* sobre el rendimiento y la calidad del forraje de *C. ensiformis* en su fase de establecimiento encontraron que las diferentes cepas de HMA inoculadas superaron al testigo en el rendimiento de masa seca, con la mayor producción en *F. mosseae*/INCAM-2 con 8,30 t ha⁻¹, seguido de *R. intraradices* y *G. cubense* con 7,80 y 6,92 t ha⁻¹ respectivamente.

En el caso anterior la canavalia fue cortada a los 69 días, con 123.2 mm de lluvia espaciado durante todo el periodo. En el presente trabajo, el corte fue a los 68 días del ciclo de la canavalia, con una pluviometría registrada de escasamente 47,2 mm. Significativo que tanto en la investigación conducida por Ojeda *et al* (2018), como en los resultados que se discuten en la tesis, se reporta una producción de biomasa seca muy por debajo de lo referido en la literatura por Torres y Torres (2019), que indican en *C. ensiformis* como cultivo de cobertura una producción promedio entre 16 y 20 toneladas por hectárea en la fase de floración, sin embargo, Tamayo *et al.*, (2015) refiere hasta 5 t ha⁻¹ de masa seca.

Este comportamiento se puede asociar con el bajo nivel de humedad del suelo, lo que coincide con Ángel (2008), que plantea que *C. ensiformis* (L.) se considera menos agresiva que el frijol terciopelo en condiciones extremas de sequía, pobreza y acidez en los suelos.

Los resultados obtenidos en cuanto al aporte de biomasa, permiten coincidir con Padrón *et al* (2020), quienes indican que una de las fabáceas, que ha registrado un comportamiento aceptable bajo condiciones extremas de suelo y déficit hídrico, es *C. ensiformis*, especie que por su rápido desarrollo y contenidos nutricionales en biomasa se ha convertido en una de las plantas promisorias

para su implantación como fuente de biomasa para incorporación de abonos verdes. Castro *et al.*, (2018) reportó un aporte de 8900 kg ha⁻¹ de masa verde de canavalia en condiciones de producción.

De forma general, los abonos verdes elevan, además, los tenores de materia orgánica del suelo y mejoran las propiedades físicas, principalmente la estabilidad de los agregados, las densidades, la porosidad, tasas de infiltración y retención de humedad. Los constituyentes orgánicos pueden actuar como agentes cementantes, en conjunto con los minerales arcillosos y contribuyen a la formación de agregados estables, lo que evita la formación de costras y el escurrimiento superficial (Altieri y Koohafkan, 2008).

Lo expuesto en el párrafo anterior justifica la evaluación de *C. ensiformis* en la Finca “Maripa” y puede contribuir al mejoramiento del suelo, si se tiene en cuenta que el mismo mantiene un perfil agroecológico de baja fertilidad natural y medianamente erosionado.

Con miras a buscar alternativas de manejo para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, se ha hecho uso de tecnologías agroecológicas como los abonos verdes (Urquiaga *et al.*, 1998). Estos autores consideran además al nitrógeno y al fósforo como dos de los elementos que más influyen en la producción de los cultivos, sin embargo, la utilización de estos nutrimentos en forma química está limitada fundamentalmente por su alto costo y la incompatibilidad de estos con la conservación del medio ambiente, razones por las cuales, se utilizan alternativas sustentables capaces de mantener los niveles productivos y su calidad sin dañar los agroecosistemas.

Una de estas alternativas lo constituye la utilización de microorganismos simbióticos para el caso de las leguminosas, entre los cuales se destacan el *Rhizobium*, el cual fija cantidades considerables de dinitrógeno atmosférico, y los HFM, caracterizados por mantener una absorción efectiva de nutrientes y agua del suelo, jugando un papel importante en la captación del fósforo y otros microelementos (Tamayo *et al.*, 2015).

Resulta también un cultivo de fácil manipulación y acarreo dentro de las áreas de producción. Los campesinos refieren un alto potencial de aporte de hojarascas y material muerto al suelo,

independientemente de una alta relación hoja tallo. Esto favorece las condiciones del suelo y facilita una mayor retención de humedad (Escobar *et al*, 1983).

Lo planteado por los autores anteriormente citados referido al aporte al suelo de N.P.K proveniente de la biomasa al incorporar cultivos como abonos verdes (en este caso canavalia) se expone en la Tabla 1. Para el caso del nitrógeno, el mayor aporte se obtuvo en el tratamiento Azofert-Can-2 + ECOMIC (92,81 kg ha⁻¹) y Azofert-Can-3+ECOMIC (84,97 kg ha⁻¹), sin diferencias estadísticas, seguido de Azofert-Can-5+ECOMIC (77,82 kg ha⁻¹), Azofer-Can 2, Azofert-Can-5+ECOMIC®, ECOMIC® - Testigo y Azofert-Can-Testigo, estos tres últimos sin diferencias estadísticas. Tendencia similar se observó en los aportes de P₂O₅ y K₂O. Los tratamientos Azofert-Can-3 y Azofert-Can-5 mostraron los menores aportes.

Se debe tomar en cuenta que la descomposición de la biomasa vegetal y los aportes de reciclajes de nutrimentos influyen en la nutrición de los cultivos sucesivos, según García *et al.* (2017), por lo que, justamente el objetivo de este trabajo, alcanzar efectos favorables en la producción de biomasa en función derivados de la inoculación con los biopreparados utilizados.

Por otra parte, Azcón y Barea (1980), reportaron que las leguminosas que presentan doble simbiosis normalmente muestran mayor nodulación; de igual manera, Costa *et al.* (1987), reportaron el efecto positivo de la inoculación con la micorriza *Glomus margarita* que incrementó el número y peso de los nódulos.

Es muy importante trabajar sobre alternativas de sustitución de fuentes nitrogenadas provenientes de síntesis, Sosa-Rodríguez *et al.*, (2019), citando a la FAO en 2015 manifiestan que en el mundo en el 2018 se utilizarían 200 millones de toneladas de fertilizantes sintéticos, cuya eficiencia no supera el 33%; con el consiguiente daño ambiental al suelo y el manto freático, que en ocasiones vulneran la inocuidad de los alimentos. De ahí la importancia de acudir a alternativas biológicas de fijación del nitrógeno al suelo.

La eficiencia de uso del N₂ fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del nitrógeno adicionado como fertilizante químico, Sin embargo, la eficiencia de uso del N fijado por

una leguminosa usada como abono verde puede variar dependiendo de la sincronización que exista entre el momento de aporte de nutriente, la demanda del cultivo y la interacción con otros microorganismos del suelo (Chikowo *et al.*, 2006).

Tabla 1. Aporte de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo en el abono verde

Tratamientos	Aportes kg ha ⁻¹		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Azofert-Can-2	79,25b	10,97bc	231,45b
2. Azofert-Can-3	67,00d	9,26d	204,98d
3. Azofert-Can-5	71,50c	9,82cd	207,34d
4. Azofert-Can-Testigo	77,00bc	10,65c	224,74bc
5. Azofert-Can-2+ECOMIC®	92,81a	12,80a	270,24a
6. Azofert-Can-3 + ECOMIC®	84,97a	11,72a	247,40a
7. Azofert-Can-5+ECOMIC®	77,82b	10,74bc	226,59bc
8. ECOMIC® - Testigo	77,25b	10,67c	225,29bc
ES±	9,38 ***	1,28 ***	25,69 ***

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas para $P \leq 0,001^{***}$ (Duncan, 1955).

Rivera *et al.*, (2007) reportan, tanto en condiciones de producción, como en resultados de investigación que, para las condiciones de Cuba, *C. ensiformis* ha sido capaz de aportar más de 150 kg N ha⁻¹, además de elevar sosteniblemente los rendimientos de diversos cultivos como maíz, papa, calabaza, yuca, malanga, incluido beneficios en pastos y forrajes. Los resultados que se discuten resultantes de esta investigación están por debajo de estos valores mencionados por el autor que refiere, lo cual se relaciona con el efecto de cultivar en secano, que redujo la masa foliar sustancialmente.

Justifica la investigación y los resultados obtenidos, lo planteado por García *et al.*, (2017), cuando refiere que, una forma sostenible de aportar N₂ a los sistemas agrícolas es la inserción de plantas que establezcan simbiosis capaces de realizar la fijación biológica de nitrógeno dentro de las rotaciones de los cultivos, lo que no solo puede contribuir a la movilización de este elemento, sino a facilitar un intercambio de nutrientes en el suelo producto de la acción de los microorganismos.

Entre estos tipos de planta se encuentran las leguminosas que se emplean como abonos verdes, las cuales son capaces de mantener o mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, importante en el ahorro de fertilizantes nitrogenados y la reducción de costos de producción, sobre lo cual versa el estudio, en este caso con la canavalia como leguminosa.

Por otra parte, los HMA, unidos con los rizobios son vías que permiten mejorar el desarrollo de los cultivos cuando interactúan con las plantas creando simbiosis entre sí, los cuales están presentes en cerca del 80% de los cultivos agrícolas y pueden aumentar los procesos de absorción y traslocación de nutrientes en las plantas a través de la micorrización efectiva y de la fijación biológica de nitrógeno (Tamayo *et al.*, 2015). Esto se aprecia en la cantidad de N.P.K. que pueden ser aportados al suelo, y que con la coinoculación de los HMA y el rhizobium se incrementaron los mismos en relación a un Testigo.

Lo planteado anteriormente lo corroboran Martín *et al.*, (2017); Wilches *et al.*, (2019); Tamayo *et al.*, (2020), al expresar que otro beneficio atribuible a la simbiosis Rhizobium– leguminosas es el aporte de N₂ y donde las micorrizas incrementan la absorción de otros elementos, entre ellos el P, muy importante para garantizar una adecuada fijación biológica de nitrógeno con un mejor crecimiento de la planta, también efectos de fortalecer la planta y reducir la incidencia de patógenos.

Ojeda *et al.*, (2018), al evaluar en un suelo Pardo Grisáceo bajo condiciones de secano el efecto de las cepas de HMA: *F. mosseae*, *G. cubense* y *R. intraradices* sobre el rendimiento y la calidad del forraje de *C. ensiformis* en su fase de establecimiento encontraron que los aportes de nitrógeno y potasio fueron superiores en la inoculación con *F. mosseae*/ INCAM-2, seguido de *R. intraradices*/INCAM-11 y *G. cubense*/INCAM-4. En cuanto al fósforo, no hubo diferencias significativas entre las cepas. Para cualquiera de los nutrientes el testigo siempre presentó un comportamiento significativamente inferior al obtenido con la inoculación de las especies, las cuales, como mínimo, duplicaron los aportes al suelo del primero.

La Tabla 2 muestra el resultado de la evaluación morfofocultural de la nodulación asociada a *C. ensiformis*. El comportamiento de la abundancia en los tratamientos inoculados con los

biofertilizantes indico la mayor cantidad de nódulos en Azofert-Can-2+ ECOMIC®, Azofert-Can-3+ ECOMIC® y Azofert-Can-5+ECOMIC®, así como en ambos testigos. En todos los casos con un conteo entre 50-100 nódulos, con categoría 3. Morfológicamente no ubicados en la raíz principal (Categoría 1). De forma general predominó un mayor porcentaje de nódulos activos, de color rojo, y en poca cantidad nódulos muerto e inactivos.

Douxchamps *et al*, (2014), refieren que la presencia de nódulos solamente en la raíz principal puede indicar que las bacterias intentan compensar una baja fijación aumentando su número dentro de los nódulos. Esta aseveración no se corresponde con los resultados del trabajo, como se aprecia en la Tabla 2.

Destacar que resulto evidente la presencia de cepas de rhizobium nativas o autóctonas del área de estudio, que superaron a las tres cepas Azofert evaluadas, comportamiento que sugiere un efecto favorable de las mismas en la formación de nódulos efectivos en las raíces de la canavalia.

En observaciones aleatorias realizadas en la Finca en plantaciones aisladas de *C. ensiformis* durante los años 2020, 2021 y 2022, así como en un intercalamiento de esta leguminosa con limón, se encontró siempre la presencia de nódulos de rhizobium en las raíces secundarias, y en su gran mayoría de color rojo, lo que indica que existe actividad fijadora de cepas nativas.

Tang (1996), entre otros autores, han centrado sus investigaciones en la nodulación natural de leguminosas forrajeras y en la eficiencia simbiótica de rizobios nativos, inoculados en leguminosas promisorias para la alimentación, lo que puede constituir una continuidad de este trabajo para aislar los rizobios de *C. ensiformis* y mejorar su efectividad como abono verde y el aporte de N₂ al suelo.

La doble inoculación rhizobium/HMA produce mayor crecimiento, número, peso seco en los nódulos y mayores contenidos de P y N en la planta (Tamayo *et al.*, 2015; Martín *et al.*, 2017). Los resultados obtenidos en el trabajo hallaron mayor número de nódulos en las variantes coinoculadas, lo que coincide con lo planteado por estos autores en cuanto a la cantidad de nódulos por plantas.

Tabla 2. Evaluación morfo cultural de la nodulación por rhizobium en *C ensiformis*.

Tratamientos	Abundancia/Nro de nódulos	Tamaño	Nódulos/raíz principal	Color predominante
1. Azofert-Can-2	10-50- nódulos (Cat-2)	1 y 2	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
2. Azofert-Can-3	10-50- nódulos (Cat-2)	2	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
3. Azofert-Can-5	10-50- nódulos (Cat-2)	2	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
4. Azofert-Can-Testigo	50-100-nódulos (Cat-3)	2 y 3	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
5. Azofert-Can-2+ ECOMIC®	50-100-nódulos (Cat-3)	2	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
6. Azofert-Can-3+ ECOMIC®	50-100-nódulos (Cat-3)	2 y 3	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
7. Azofert-Can-5+ ECOMIC®	50-100 nódulos (Cat-3)	1 y 2	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)
8. ECOMIC® - Testigo	50-100 nódulos (Cat-3)	2 y 3	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)

Claudia *et al.* (2008) encontraron interacción al evaluar diferentes cepas de rhizobium y hongos micorrízicos arbusculares en especies de leguminosas en un andisol, donde todas las cepas nodularon, pero sólo se observaron nódulos efectivos de color rojo en las raíces principales con cepas nativas, los que probablemente se encontraban fijando N₂ por la presencia de la leghemoglobina. En el trabajo la mayor nodulación estuvo en las raíces secundarias, alejados de la raíz principal, lo que no coincidió con estos autores.

Respecto a la forma, en todos los tratamientos, los nódulos colectados se consideraron, en general, esféricos y ramificados en las raíces secundarias. Al abrirlos tenían un color rojo fuerte en su mayoría y rojo claro algunos, con consistencia firme y sus tejidos liberaron una savia de color rojo.

Hernández *et al.* (2012), considera que la coloración roja se le atribuye al efecto de la enzima nitrogenasa encargada de transformar el nitrógeno atmosférico en amoníaco, lográndose a través del pigmento conocido como Leghemoglobina, que es la responsable del color rojo que se observó en el interior de los nódulos al realizarle el corte.

Lo anterior sugiere que la interacción simbiótica entre las bacterias fijadoras de nitrógeno y las leguminosas se establece a través de un intenso intercambio de señales entre ambos simbios, donde se destaca la liberación de compuestos isoflavonoides por la raíz, que inducen la síntesis de los factores de la nodulación en la bacteria (Freixas *et al.*, 2010).



Figura 9. Evaluación de la nodulación en *C. ensiformis*. Fuente: Ojeda, (2022).

En este sentido, Córdova *et al.* (2011) observaron nódulos en *C. ensiformis* con características morfológicas variables como superficie rugosa, forma irregular y ubicada en todo el sistema radical generalmente, en la parte superior de la raíz principal y en el cuello de la raíz en suelos ácidos de Tabasco, México, hallazgo que no fue visto en el presente trabajo. Con relación a ello, Puerta *et al.* (2008) en evaluación de la nodulación total en leguminosas encontraron que la masa de nódulos fue superior en *C. ensiformis* seguido de *Cajanus cajan*, en comparación del resto de las leguminosas.

Por su parte López *et al.* (2011) caracterizaron la nodulación de *C. ensiformis*, *Crotalaria juncea* y *Sesbania rostrata* en suelos afectados por la salinidad, y encontraron que *C. ensiformis* presentó mayor predominio de la nodulación en la raíz principal, prevaleciendo el color rojo en la parte interna de los nódulos. Lo que demostró la presencia de cepas de rhizobium efectivas en el suelo para esta especie.

Ojeda *et al.* (2018) en un suelo Pardo Grisáceo encontraron que en *Leucaena leucocephala* las inoculaciones conjuntas de *Rhizobium* y Hongos Formadores de la Micorriza incrementaron el rendimiento de biomasa seca, contenido de fósforo y de proteína bruta y propusieron adoptar una metodología alternativa con la coinoculación de estos microorganismos para incrementar el rendimiento de esta leguminosa forrajera, disminuir la fertilización mineral y contribuir a la protección del medio ambiente.

CONCLUSIONES

1. La producción de biomasa seca de *C. ensiformis* fue superior en todos los tratamientos coinoculados con rhizobium y micorrizas. El mayor valor se obtuvo en el tratamiento Azofert Can 2 + ECOMIC® con 3,73 t ha⁻¹, sin diferencias de Azofert-Can-3+ECOMIC®.
2. La limitación de humedad del suelo durante todo el ciclo del cultivo pudo reducir la producción de biomasa de *C. ensiformis* en relación a los reportes de la literatura para Cuba.
3. El aporte de NPK al suelo a través del reciclaje de *C. ensiformis* fue mayor en todos los tratamientos coinoculados con rhizobium y micorrizas. El mayor valor fue en el tratamiento Azofert Can 2 + ECOMIC® con 92,81, 12,80 y 270,24 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fosforo y potasio respectivamente, aunque sin diferencias con Azofert-Can-3+ECOMIC®.
4. Se constató una mayor presencia de nódulos por rhizobium en las variantes coinoculadas y en ambos testigos, lo que indica en este caso una nodulación espontánea activa, por cepas nativas. El predominio fue de nódulos activos de color rojo, tamaño mediano y forma esférica, localizados en las raíces secundarias de forma uniforme.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar *C. ensiformis* como cultivo de cobertura o abono verde para facilitar un mayor reciclaje de nutrientes al suelo.
2. Extender a áreas de producción de *C. ensiformis* la variante de coinoculación con rhizobium y micorrizas Azofert Can 2 + ECOMIC® y Azofert-Can-3+ECOMIC®.
3. Aislar cepas nativas de rhizobium presentes en *C. ensiformis* y evaluar las mismas con proyección de obtener un inoculante comercial específico.
4. Incorporar los resultados de esta investigación como material de consulta en la docencia de Agronomía y publicar una nota técnica en revista especializada.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, M., Garca, R., & Mendoza, H. (2008). Hacerlo amanecer: una experiencia participativa en la construcción de procesos de etnodesarrollo con pueblos indígenas en la Amazonía colombiana. *Revista Colombiana Amazónica*, 1(3), 155-173.
- Altieri, M., & Koohafkan, P. (2008). Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities. *Third World Network*.
- Ángel, D. I. (2008). *Evaluación de Abonos Verdes en el Sistema de Producción Maíz – Leguminosas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia.
- Arshad, M., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.* 88(7), 153 – 160.
- Azcón, A., & Barea, J. M. (1980). Avances recientes en el estudio de las micorrizas arbusculares: factores que afectan su formación, función y aplicaciones prácticas en la agricultura. *Manuales de edafología*, 43(2), 3-4.
- Azcón, R., Rubio, R., & Barea, J. M. (1991). Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium meliloti* strains and their effect on growth N₂ fixation (15N) and nutrition of *Medicago sativa* L. *New Phytol*, 117(2), 399-404.
- Barbazán, M., Ferrando, M., & Zamalvide, J. P. (2001). Acumulación de materia seca y nitrógeno en gramíneas anuales invernales usadas como cobertura vegetal en viñedos. *Agrociencia*, 6(1), 10-19.
- Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 123-132.
- Barroso, G. R., Carvalho, J. O., Dos Santos, M. R., Ferreira, M. G., & Marcolan, A. L. (2009). Teor de macronutrientes em plantas utilizadas como adubo verde. *Saber Científico*, 2(1), 37-42.
- Bunch, R. (2004). Adoption of green manure and cover crops. *Leisa*, 19(5), 16-18.
- Bunch, R. (2016) ¿Cómo prohibir las sequías? Aprendiendo de los africanos que aprendieron de los latinoamericanos. *Revista de Agroecología*, 32(2), 8–11.
- Bustamante, C.; Rivera, R.; Pérez, G. & Viñals, R. (2010). Promoción del crecimiento de *Canavalia ensiformis* L. mediante la coinoculación de cepas de *Rhizobium* y hongos formadores de

- micorrizas en suelo pardo sin carbonatos. 9(2), 5.
- Cáceres, E., & Delgado, R. (1995). *C. ensiformis*: leguminosa forrajera promisorio para la agricultura tropical. *Pastos y Forrajes*, 18(2), 107.
- Canals, S. (1976). *Las civilizaciones prehispánicas de América*. Sudamérica.
- Cardona, G., Peña-Venegas, C. P., & Arcos, A. (2008). Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum sp.*) en la Amazonia colombiana. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 459-470.
- Cardoso, I., & Kupier, T. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agric. Ecosyst. Environ.* 116(4), 72 – 84.
- Castro, E. (2016). *Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco*. (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, E., Rodríguez, J. E., Fornaguera, J. E., & Lascano, C. E. (2018). Abonos verdes de leguminosas: Integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729.
- Cherr, C. M., Scholberg, J. M., & McSorley, R. (2006). Green manures as nitrogen source for sweet corn in a warm – temperate environment. *Agron. J.* 98(2), 1173 – 1180.
- Chikowo, R., Mapfumo, P., Leffelaar, P. A., & Giller, K. E. (2006). Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76(1), 219-231.
- CITMA. (2020). Estrategia Ambiental Nacional 2016-2020.
- Claudia, G., Castillo, R., Rubio, H., Urzúa, S., & Fernando, B. (2008). Interacción *Rhizobium leguminosarum* bv trifolii y hongos micorrízicos en un andisol con diferentes niveles de saturación de aluminio. *IDESIA*, 26(3), 7-179.
- Córdova, S., Estrada, M., García, S., López, J. D., Núñez, J. A., Cabriales, J. J., Espinoza, L. C., & Navarro, R. (2011). Biological nitrogen fixation by three fabaceas (Leguminosae) in acid soil of Tabasco, México. *AIA*, 15(1), 31-50.
- Corrêa, R. S., de Oliveira, L. A., de Oliveira, A. N., & Moreira, F. W. (2010). Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais na Amazônia. (Ponencia). *XXXIII Congresso brasileiro de ciencia do solo*, Minas Gerais, Brasil.

- Costa, N., Dionisio, J., & Anghinoni, L. (1987). Efeito de enoculação de fungos endomicorrizicos e de fontes de fosforo sobre o crescimento do camping-sudado e da *Leucaena leucocephala*. *Agronomia Sulriograndesn*, 23(1), 65-76.
- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Paraninfo.
- Díaz, M. F., González, A., Padilla, C., & Curbelo, F. (2013). Comportamiento de la producción de forrajes y granos de *C. ensiformis*, *Lablab purpureus* y *Stizolobium niveum* en siembras de septiembre. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(1), 34-39.
- Dos Santos, M. R. A., Ferreira, M. G. R., Carvalho, J. O. M., Marcolan, A. L., Barroso, G. R. P., Lima, R. A., & Silva, A. G. (2009). Efeito da adubação verde sobre o crescimento de *Kalanchoe pinnata* (Lam.). *Pers. Saber Científico*, 2(2), 45-55.
- Douxchamps, S., Rao, I. M., Peters, M., Van der Hoek, R., Schmidt, A., Martens, S., & Oberson, A. (2014). Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(1), 25-45.
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and F test Biometrics, 11(1), 1-42.
- Embrapa, Agrobiología. Base de datos. Leguminosas. (2012).
<https://intranet2.cnab.embrapa.br/leguminosas/detalhesbusca.asp>
- Escobar, A., Viera, J., Dixon, R., Mora, M., & Parra, R. (1983). *Canavalia ensiformis* – Una leguminosa para la producción animal en los trópicos. Informe Anual. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela
- Espíndola, J. A., de Almeida, D. L., & Guerra, J. G. M. (2009). Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica. Embrapa *Agrobiología*.
- Fernández, F., Gómez, R., Vanegas, L., Martínez, M., de la Noval, B., & Rivera, R. (2000). Producto inoculante micorrizógeno. Oficina Cubana de la Propiedad Industrial. La Habana, Cuba. Certificado Nro. 22641.
- Florentín, M. A., Peñalva, M., Calejari, A., & Derpsch, R. (2009). Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. Proyecto de Conservación de suelos. Gtz- Mag/Deag.
- Freixas, J. A., Reynaldo, M. I., & Nápoles, C. M. (2010). Influencia de la sequía sobre el metabolismo del nitrógeno fijado durante la simbiosis *Bradyrhizobium*-Soya. *Cultivos Tropicales*, 31(2), 66-73.

- Gainza, X., Acosta, L. E., & Bernal, H. (2008). Territorio, tecnologías del conocimiento tradicional y desarrollo. Apuntes para la Gran Amazonía continental suramericana. (Ponencia). XI Jornadas de Economía Crítica, Bilbao, España.
- García, M., Rivera, R., Cruz, Y., Acosta, Y., & Ramón, J. (2017). Respuesta de *Canavalia ensiformis* L. a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrízico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 7–12.
- García, M., Treto, E., & Álvarez, M. (2002). Época de siembra más adecuada para especies promisorias de abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos tropicales*, 23(1), 5- 14.
- García, O. I., & Acosta, L. E. (2009). Resguardos indígenas y conservación del medio ambiente: Particularidades de la Amazonía colombiana. *Colombia Amazónica*, 4, 173-186.
- Gibson, K. E., Kobayashi, H., & Walker, G. C. (2008). Molecular Determinants of a Symbiotic Chronic Infection. *Ann RevGen* 42(2), 413-441.
- Guerra, J. G. M., & López de Almeida, D. (2008). Adubação verde com leguminosas para o cultivo de hortaliças. Memórias do Congresso Científico do INCA. (16th, November 24-28, 2008, La Habana). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Guzmán-González, S., & Farías-Larios, J. (2005). Biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(2), 17-31.
- Hernández, A., & Hernández, A. N. (1996). Efecto de la interacción *Rhizobium*-MA en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.)). *Cultivos Tropicales*, 17(1), 5-7.
- Hernández, I., García, M., Hernández, G., Pérez, R., Rosales, J., & Gordillo, R. R. (2012). Caracterización fenotípica de aislados de rizobios procedentes de la leguminosa forrajera *Canavalia ensiformis*. *Cultivos Tropicales*, 33(4), 21-28.
- Hernández, Y., Alfaro, E., Mederos, D., & Rivas, E. (2009). Las coberturas vivas en sistemas de cultivos agrícolas. *Tem Cien Tecn*, 13(38), 7-16.
- Jaime, V., & Rodríguez, A. (2008). Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrízicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, 3, 33 - 39.
- Lopes, P., Stürmer, S. L., & Siqueira, J. O. (2009). Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(1), 111-121.
- López, R., González, L., Ramírez, R., Cordoví, E., Gómez, I., & Castillo, P. (2011). Aislamiento

- y caracterización de cepas nativas de *Rhizobium* aisladas de leguminosas pratenses en suelos afectados por la salinidad. *Pastos y forrajes*, 23(2), 27-31.
- Lozano, Z., Hernández, R., & Delgado, M., (2011). Cultivos de cobertura y fertilización fosfórica y su efecto sobre algunas propiedades químicas del suelo en un sistema mixto maíz-ganado. *Venezuela*, 19, 45-54.
- Martín, A., Gloria, M.; Tamayo A., Hernández, F., Varela N., & da Silva, A., (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38 (1), 122-130.
- Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales*, 36, 34-50.
- Martín, G. M., Reyes, R., & Ramírez, J. F., (2015). Coinoculación de *Canavalia ensiformis* (L) D.C. con *Rhizobium* y Hongos Micorrízicos Arbusculares en dos tipos de suelos de Cba. *Cultivos tropicales*, 36(2), 22-29.
- Martín, G. M., Rivera, R., & Mujica, Y. (2007). Estimación de la fijación biológica del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis* por el método de la diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 28(4), 75-78.
- Martín, G. M., Tamayo, Y., Hernández, I., Varela, M., & da Silva, E. (2017a). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en *Canavalia ensiformis* crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38, 122-130.
- Martín, G. M., Tamayo, Y., Ramírez, J. F., Varela, M., & Rivera, R. (2017b). Relación entre la respuesta de *Canavalia ensiformis* a la inoculación micorrízica y algunas propiedades químicas del suelo. *Cultivos Tropicales*, 38, 24-29.
- Martínez, L. B., & Pugnaire, F. I. (2009). Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas*, 18(2), 44-54.
- Mateus, G. P., & Wutke, E. B. (2011). Especies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. *Pesquisa y Tecnología*, 8(103), 316-514.

- Meléndez, G., & Gabriela, S. (2003). Tecnologías e insumos orgánicos. Taller de Abonos Orgánicos. /Catie/ Gtz/Ucr/Canian. 3 y 4 de marzo. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y la Cámara de Insumos Agropecuarios No Sintéticos.
- Montaño, N. M., Camargo-Ricalde, S. L., García-Sánchez, R., & Monroy, A. (2009). Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. *Mundi Prensa*.
- Muñiz, O. (2015) 50 Aniversario del Instituto de Suelos de Cuba. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 5(2), 1-9.
- Muraoka, T., Ambrosiano, E. J., Zapata, F., Bortoletto, N., Martins, A. L. M., Trivelin, P. C. O., Boaretto, A. E., & Scivittaro, W. B. (2002). Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra Latinoamericana*, 20(1), 17–23.
- Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámara-Cordova, J., & Grande-Cano, D. (2013). Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 57, 266-279.
- Ojeda, L. J., González, P. J., Rivera, R., Furrázola, E., de la Rosa, J. J., Hernández, M. E. Rodríguez, Y., & Hernández, C. (2018) Inoculación de Canavalia ensiformis con hongos micorrízico arbusculares en la fase de establecimiento. *Pastos y Forrajes*, 41(3), 189-195.
- Padrón-Rodríguez, L., Arias-Mota, R. M., Medel-Ortíz, R., & De la Cruz-Elizondo, Y. (2020). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y una cepa fosfato solubilizadora en Canavalia ensiformis (Fabaceae). *Botanical Sciences*, 98(2), 278-287.
- Paneque, V., & Calaña, S. (2002). Abonos Orgánicos, concepto práctico para su evaluación y aplicación. (Ponencia). Encuentro Provincial de Agricultura Orgánica. La Habana. Cuba.
- Paredes, M. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. (Tesis de Grado). Universidad Católica Argentina.
- Peña-Venegas, C. P., Cardona, G. I., Mazorra, A., Arguellez, J. H., & Arcos, A. L. (2006). Micorrizas arbusculares de la Amazonia colombiana. Catálogo ilustrado. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI
- Perin, A., Santos, R. H. S., Urquiaga, S., Guerra, J. G. M., & Cecon, P. R. (2004). Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesq. Agropec. Bras*, 39 (1), 35 – 40.

- Posada, R. H., Madriñan, S., & Rivera, E. L. (2012). Relationships between the litter colonization by saprotrophic and arbuscular mycorrhizal fungi with depth in a tropical forest. *Fungal Biology*, 116(7), 747-755.
- Prager, M., Sanclemente, O. E., Sánchez de Prager, M., Gallego, J. M., & Ángel, D. I. (2012). Abonos verdes: Tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología*, 14(7), 53- 62.
- Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., Alegre, J., Loli, O., Soplin, H., & Baligar, V. C. (2008). Establishment of cover crops and their growth and nutrient uptake in a humid tropical soil of the peruvian amazon. *Ecología Aplicada*, 7(1), 7.
- Roca, A. (2016). Elementos del suelo esenciales para las plantas. (Página web). <https://www.elementosdelsuelo.com/>
- Rodríguez-Morelos, V. H., Soto-Estrada, A., Pérez-Moreno, J., & Negreros- Castillo, P. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi and their involvement in the production and management of neotropical forest species with emphasis on Meliaceae. *Interciencia*, 36(8), 564-569.
- Roig, J. T. (1965). *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*. Consejo Nacional de Universidades.
- Ruiz, P. O., Rojas, K. C., & Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la Amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*, 23(8), 47-63.
- Salamanca, A. W. F., Bonilla, C. C. R., & Sánchez M. S. (2006). Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronomica*, 53(3), 35-43.
- Sánchez de Prager, M., Posada, R., Velásquez, D., & Narváez, M. (2010). Metodologías básicas para el trabajo con micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Somasegaran, P., y Hoben, H. J. (1994). *Handbook for Rhizobia*. Springer-Verlag.
- Sanclemente, O., & Prager, M. (2009). Efecto del cultivo de cobertura y abono verde: *Mucuna pruriens* en las propiedades biológicas de un suelo Typic Haplustalfs, cultivado con maíz dulce (*Zea Mays* L.) en la zona de ladera del Municipio de Palmira Valle del Cauca, Colombia. *Revista Brasileira de Agroecología*, 4(2), 4133 – 4138.
- Sosa-Rodríguez, B. A., Sánchez-de-Prager, M., García-Vivas, Y. S., Espinoza-Guardiola, M. D., Rodríguez, J. A., Sosa-Rodríguez, G. M., Sosa-Rodrigues, B. A., Sánchez-de-Prager, M.,

- García-Vivas, Y. S., Espinoza-Guardiola, M. D., Rodríguez, J. A., & Sosa-Rodríguez, G. M. (2019). Dinámica de nitrógeno del suelo en agroecosistemas bajo el efecto de abonos verdes. *Acta Agronómica*, 68(4), 257-264. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.71963>
- Tamayo, Y., Martín, G., Corona, Y., & Barraza, F. (2015). Respuesta de la Canavalia ensiformis L. D.C. ante la coinoculación de Rhizobium y hongos micorrízicos arbusculares. *Ciencia y Técnica*, 19(3), 100–108.
- Tamayo-Aguilar, Y., Juárez-López, P., Capdevila-Bueno, W., Lescaille-Acosta, J., & Terry-Alfonso, E. (2020). Bioproductos en el crecimiento y rendimiento de Phaseolus vulgaris L. var. Delicia 364. *Terra Latinoamericana Número Especial*, 38(3), 667-678. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.672>
- Tang, M. (1996). Efecto de la inoculación natural en ocho leguminosas. *Pastos y Forrajes*, 7(2), 131-135.
- Tivelli, S.W., Purquerio, L., & Kano, C. (2010). Adubação verde e plantio direto em hortaliças, *Pesquisa y Tecnologia*, 7(1), 1–7.
- Urquiaga, S. (2001). Potencial de la fijación biológica del nitrógeno en la productividad de sistemas agrícolas de América Latina. *Boletín de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*, 4(5), 17-21.
- Urquiaga, S., Bruno, J. R., Robert, M., & Neves, M. C. (1998). Importancia del papel de la FBN en el desarrollo agrícola de América Latina y El Caribe. (Ponencia). XIX Reunión Latinoamericana de Rhizobiología. Maturín-Monagas, Venezuela.
- Van der Heijden, M., Bardgett, R. D., & Van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296-310.
- Vieco, J. J. (2011). Desarrollo, Medio Ambiente y Cultura en la Amazonía Colombiana. (Ponencia). III Seminario Internacional en Medio Ambiente, Biodiversidad y Desarrollo, Caquetá, Colombia.
- Viera, J., y Ramis, C. (2014). Búsqueda de variabilidad genética en el Género Canavalia. IPA. Informe anual 81. p. 28.
- Wilches, W. A., Ramírez-Gómez, M. M., Pérez-Moncada, U. A., Serralde-Ordoñez, D. P. A., Peñaranda-Rolon, M., & Ramírez, L. (2019). Association of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) with sugarcane plants (Saccharum officinarum) for panela production in Colombia.

Terra Latinoamericana, 37(5), 175-184. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.481>