



Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Agrónomo

Título: Respuesta de un suelo Pardo grisáceo en condiciones de producción a la incorporación de *Canavalia ensiformis* (L.) como abono verde.

Autor: Daniel Rivero Pérez

Tutor: Dr. C. Lázaro J. Ojeda Quintana

2022

RESUMEN

Con miras a buscar alternativas de manejo para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos cultivados por agricultores de bajos recursos, se ha hecho uso de tecnologías agroecológicas como los abonos verdes (AV). La investigación se realizó en condiciones de producción de la Finca “El Porvenir”, perteneciente a la UBPC “Tabloncito” en el municipio de Cumanayagua durante los años 2021 y 2022. Se utilizó un diseño Completamente aleatorizado con 20 unidades experimentales, y los siguientes Tratamientos: 1. AV *Canavalia ensiformis* (L.) en área compacta (AVAC) y 2. AV *Canavalia ensiformis* (L.) intercalada en café (AVIC). Se determinó la cantidad de biomasa, de NPK y materia orgánica que el AV al incorporarse al suelo, la producción de semillas y la nodulación espontánea de rizobios y el efecto del abono verde en algunos componentes de la fertilidad del suelo. Se concluyó que *C. ensiformis* incorporó más cantidad de biomasa verde y seca al suelo en el tratamiento AVAC que cuando estuvo intercalada dentro del café (AVIC), de igual forma con las aportaciones de NPK y materia orgánica. Se constató la presencia de rhizobium nativo en las raíces de *C. ensiformis*, con una nodulación espontánea superior en el tratamiento AVIC y predominio de nódulos activos de color rojo. La producción de semilla registró un rendimiento de 4201,08 kg. ha⁻¹. Hubo incrementos del pH y materia orgánica en el suelo en relación al contenido inicial en un primer muestreo realizado 35 días después de su incorporación.

Palabras clave: Abonos verdes, biomasa, leguminosa-rizobio, fertilidad del suelo

ABSTRACT

In order to find management alternatives for improving the fertility of soils cultivated by low-income farmers, agroecological technologies have been used such as green manures (GM). The research was carried out under production conditions on the Farm: “El Porvenir”, UBPC “Tabloncito” in the municipality Cumanayagua during the years 2021-2022. A design was used Totally randomized with 20 experimental units, and the following Treatments: 1. GM: *Canavalia ensiformis* (L.) in compact area (AVAC) and 2. GM: *Canavalia ensiformis* (L.) inserted in coffee (AVIC). The quantity of biomass was determined, of NPK and organic matter that the GM when incorporating to the soil, the production of seeds and the spontaneous nodulation of rhizobia and the effect of the green manure in some components of the soil fertility. Concluded, that *C. ensiformis* incorporated more quantity from green and dry biomass to the soil in the treatment AVAC that when it was inserted inside the coffee (AVIC), of equal it forms with the contributions of NPK and organic matter. The presence of native rhizobium was verified in the roots of *C. ensiformis*, with a nodulation spontaneous superior in the treatment AVIC and prevalence of active nodules of red color. The seed production registered a yield of 4201,08 kg. have-1. There were increments of the pH and organic matter in the soil in relation to the initial content in a first sampling carried out 35 days after their incorporation.

Keywords: Green manure, biomass, legume-rhizobia, soil fertility

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente el término “abono verde” se ha usado para referirse a plantas que se incorporan al suelo cuando aún están verdes, o un poco después de la floración con el objetivo de enriquecer los suelos. Pero en épocas recientes el termino abonos verdes se ha usado más ampliamente y puede referirse a plantas cuya vegetación se deja en el suelo estando verde o en estado seco con el propósito de abonar el suelo (Barahona et al., 2014, p. 66).

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., 2001). 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, p.1-7).

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 informal y sistematizado para rescatar e introducir

esta práctica milenaria [Mateus & Wutke, \(2011\) p.316-514](#)

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 nutrientes 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, p.45-55](#)).

La actividad de producción agrícola es altamente extractiva de agua y nutrientes del suelo. Si estos ciclos se repiten permanentemente, sin descanso, ni suplementación, el suelo sufre agotamiento por sobre-uso y la manifestación de este estrés se va a reflejar en la nutrición, sanidad y productividad de los cultivos. 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. En un engranaje multifuncional, al inicio actúa principalmente la macro y mesobiota que trozan y consumen los materiales verdes. 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](#)).

El fríjol terciopelo (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) se destaca como la especie más utilizada como AV en cultivos de maíz, tanto en sistemas tradicionales en Centroamérica (Honduras, El Salvador, Nicaragua), como en otros programas de desarrollo en el mundo. ([Prager et al., 2012, p.53-62](#)) refieren que *Canavalia 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 de material verde.

La *Canavalia ensiformis* (L.) D.C es una especie de leguminosa adaptada a las condiciones de

Cuba debido a su vigoroso crecimiento, a los aportes de N atmosférico fijado al sistema suelo-planta, vía fijación biológica del nitrógeno (FBN), que oscilan entre 100-200 kg N.ha⁻¹, y por reciclar cantidades apreciables de P y K. Inherente al uso de los abonos verdes se encuentra la asociación de estos con los HMA y las ventajas que representa para los cultivos. (Espindola, et al., 2009, p.24).

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 para acceder a las medidas de control de la erosión del suelo y disminuir la incidencia de plantas arvenses (Barroso et al., 2009, p.37-42).

Distintas investigaciones en el mundo han validado los beneficios obtenidos con la adopción de AV en los sistemas de cultivo. (Ángel et al., 2008), hace una reseña de trabajos de investigación llevados a cabo en el mundo y en Colombia en torno a AV. Hay coincidencia en que propósito principal de esta tecnología agroecológica, es gestionar la materia orgánica del suelo generada por el uso eficiente de la energía solar a través de la fotosíntesis, la acumulación de biomasa vegetal viva, que, en el tiempo se convierte en alimento humano, animal y/o biomasa muerta sujeta a la acción de la biota del suelo que cicla los nutrientes que contiene y los hace disponibles en el agroecosistema. Fuera de ello, el efecto que tienen en el control de arvenses y la prevención de enfermedades ocasionadas, especialmente, por hongos y nematodos.

Con el propósito de evitar los efectos negativos causados por la agricultura intensiva que ha venido ocupando al mundo, se investigan soluciones integrales con manejos agroecológicos que reduzcan el empleo de insumos químicos y fomenten el uso racional de los recursos naturales, los cultivos mixtos, el uso de variedades locales tolerantes a sequías o la implementación de técnicas tradicionales con la finalidad de lograr una sostenibilidad en la producción de alimentos (Altieri & Koohafkan (2008)). Algunas de estas investigaciones se enfocan al estudio de los diferentes 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 y estrategias que mitiguen los efectos del cambio climático (Jaime & Rodríguez (2008) p.33-39

Estos abonos verdes se caracterizan por presentar periodos de crecimiento rápido y producen gran cantidad de biomasa. A la floración, estos se cortan y se incorporan en el mismo lugar donde han sido sembrados, siendo la finalidad de mejorar y enriquecer con nutrientes el suelo (García et al 2009, p.173-186).

Dentro de los aportes que las leguminosas hacen al suelo está el nitrógeno, cuya fuente sustancial de N vía fijación biológica en sistemas agrícolas tropicales es fundamental. En adición las raíces profundas y los nódulos incrementan la disponibilidad de N y realizan su distribución en los horizontes del suelo y la superficie con la hojarasca. El N acumulado puede estar disponible en el corto plazo para los cultivos siguientes vía mineralización de residuos, y en el largo plazo a través de la incorporación de residuos en las fracciones de materia orgánica del suelo (Martín et al., 2007).

Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial. El N almacenado en la microbiota del suelo podría estar disponible para las plantas cuando las condiciones ambientales favorezcan la lisis de las células microbianas, por ejemplo en la alternancia entre periodos secos y húmedos (Martín et al., 2007). La eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Urquiaga, 2001). 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 y la demanda del cultivo.

Dadas las múltiples ventajas de los abonos verdes se pensaría que es una tecnología fácil de diseminar. Sin embargo, este no ha sido el caso, pues son pocos los casos de adopción masiva de abonos verdes. En Cuba, a partir de la década de los noventa del pasado siglo XX se introdujeron diferentes formas de alternativas orgánicas para mejorar los rendimientos y el cuidado de los suelos, dentro de ella los abonos verdes jugaron un rol fundamental. Con el decursar de los años este resultado ha sido intermitente en su aplicación.

En el municipio de Cumanayagua se realizan aplicaciones de abonos verdes a pequeña y mediana escala, fundamentalmente en terreno de agricultores vinculados a diferentes formas productivas del sector cooperativo y privado, no así en el sector empresarial, lo que fundamenta el tema de

investigación, y le imprime novedad científica e innovación, al evaluar el uso de abonos verdes en condiciones de producción como extensión de resultados investigativos a una escala mayor. Después de lo anteriormente expuesto, se plantea el siguiente problema científico:

Problema científico:

¿Se favorecen los indicadores agroquímicos y biológicos del suelo con la incorporación de *Canavalia ensiformis* (L) como abono verde en un suelo Pardo Grisáceo?

Hipótesis:

La incorporación de *Canavalia ensiformis* (L) como abono verde en un suelo Pardo Grisáceo podría mejorar sus indicadores agroquímicos y biológicos.

Objetivo general:

Evaluar en condiciones de producción la respuesta de un suelo Pardo grisáceo a la incorporación de *Canavalia ensiformis* (L) como abono verde.

Objetivos específicos:

1. Determinar la cantidad de biomasa y de NPK que ofrece *Canavalia ensiformis* (L.) incorporada al suelo, así como la producción de semillas.
2. Constatar la presencia de nódulos espontáneos de *Rhizobium* en las raíces de *Canavalia ensiformis* (L.).
3. Evaluar indicadores agroquímicos y biológicos del suelo antes y después de la incorporación del abono verde.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

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. 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, p.53-62).

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 (Paneque & 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 & Martin, (2002) p.153-160

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, 2010).

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 & de Almeida (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.

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, p.53-62). 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, 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 & Rivera, (2015) p.34-50.

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. (2002, p.5-14García et al.,). Los abonos verdes constituyen una práctica tradicional que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas con la finalidad de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

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, p.84).

Según autores como (Espíndola et al., 2009, p.24), 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, p.17-23). 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. Reviste importancia en 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).

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, p.1173-1180). 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 (Jaramillo et al, 2011, p.17-23) 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 & Kadar \(2004\)](#).

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 [\(Lozano et al., 2011, p.45-54\)](#)).

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 de N, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N. Es común ver en varios 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 [\(Douxchamps et al., 2014, p.25-45\)](#)).

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. 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, p.45-54).

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 fríjol 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 et al., 2009, p.4133-4138).

También (Cherr et al., 2006), citan una serie de leguminosas de clima cálido (*Canavalia 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 que van desde los 60 hasta los 300kg. Existen otros ejemplos en Honduras de asociaciones de leguminosas como abonos verdes con cultivos anuales como son la asociación de maíz o sorgo con *Canavalia ensiformis*.

Resultados de experimentos conducidos en Cuyuta, Guatemala, mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna spp.* y *Canavalia ensiformis* manejados bajo cero labranza (residuos no incorporados) fue de alrededor de 60 kg N/ha, 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, p.7-16). 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, p.17-23).

(Perín et al., 2004, p.35-40), reportaron que en el este de Uganda, utilizaron *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna pruriens*, *Dolichos lablab*, *Canavalia. 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 *Canavalia ensiformis*, las gramíneas (Pasto estrella y Maíz) y una cucurbitácea (*Cucúrbita moschata*). 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 nutrientes y la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Dos Santos et al., 2009, p.45-55).

(Guerra et al., 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 & 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, p.7-16).

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., 2011).

En Cuba se han efectuado trabajos recientes que abordan, tanto el efecto de diferentes especies de abonos verdes en la multiplicación de propágulos de 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, obtener alimentos saludables y el precio cada vez más alto de los fertilizantes en el mercado mundial (Martín & Rivera, (2015) p.34-50.

Los abonos verdes son especialmente útiles en sistemas donde hay bajo uso de insumos externos. Consistiendo en la incorporación de una cantidad de masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Martín y Rivera 2001). 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 (Muraoka et al., 2002, p.17-23).

Los abonos verdes son de gran beneficio 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,

p.1173-1180). Las leguminosas tolerantes a sequía integradas como abonos verdes proveen una protección al suelo a procesos erosivos durante la época seca, además de la conservación de la humedad en el suelo (Douxchamps 2010).

Los abonos verdes protegen el suelo de la alta precipitación y proporcionan canales, por medio de sus raíces, a las capas sub-superficiales conduciendo de esa forma a más altas tasas de infiltración (Holt-Gimenez et al, 2002, p.87-105) y agregados más estables. Mejoras e aireación del suelo han 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”. También 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 (Etchevers et al, 2005, p.589-604).

Se debe tener un claro conocimiento del ciclo del N y los procesos donde se puede generar más pérdida, donde con la incorporación de abonos verdes de leguminosas de adecuada relación C:N (<25), se logra tener una mineralización en el suelo, además de coincidir con el momento de mayor demanda del cultivo de interés (Seneviratne et al., 2000, p.60-64).

Las leguminosas representan una fuente sustancial de N vía fijación biológica en sistemas agrícolas tropicales (Giller et al., 2001). En adición las raíces profundas y los nódulos incrementan la disponibilidad de N y realizan su distribución en los horizontes del suelo y la superficie con la hojarasca (Salamanca et al., 2004, p.53). El N acumulado puede estar disponible en el corto plazo para los cultivos siguientes vía mineralización de residuos, y en el largo plazo a través de la incorporación de residuos en las fracciones de materia orgánica del suelo (González et al., 2007, p.13).

Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo (Barrios et al., 1996) y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial (Salamanca et al., 2004, p.53). El N almacenado en la microbiota del suelo podría estar disponible para las plantas cuando las condiciones ambientales favorezcan la lisis de las células microbianas, por ejemplo en la alternancia entre periodos secos y húmedos Martín & Rivera (2002). Proceso que puede estar en

sincronía con la demanda de la planta (Oberson et al., 2005; Teaslade et al., 2007). Si la mineralización del N liberado por los residuos de las leguminosas es demasiado rápida, antes que sea tomado por las raíces del cultivo siguiente, se puede perder vía volatilización, desnitrificación o lixiviación (Chikowo et al., 2006, p.219-231).

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, p.84). Numerosos estudios se han realizado para demostrar la influencia de los abonos verdes sobre los rendimientos agrícolas. Insertados de forma inteligente dentro de los esquemas de rotación de cultivos se pueden obtener los mayores beneficios con su empleo, al mejorar sensiblemente las propiedades del suelo y favorecer la nutrición de las plantas, todo lo cual repercute directamente en el aumento de los rendimientos agrícolas (Martin, 2002b, p.73).

Constituyen una práctica agronómica que consiste en la incorporación de una masa vegetal no descompuesta de plantas cultivadas con la finalidad de mejorar la disponibilidad de nutrientes y las propiedades del suelo. En la actualidad se ha ampliado la definición a las plantas que se siembran para la cobertura del suelo, protegerlo de la erosión, controlar las arvenses y uso como alimento animal y humano. Las leguminosas tienen gran valor como abonos verdes debido al aporte de N por el proceso de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) en asociación con bacterias del género *Rhizobium*, aunque se pueden cultivar otras especies de crecimiento rápido y de buena producción de masa verde, como las gramíneas y las combinaciones de algunas de ellas en forma de mezcla que repercuten en un incremento de energía y de proteína cruda muy requerido por los animales en el forraje (Álvarez et al., 1995, p.9-24).

Los abonos verdes como Mucuna, Canavalia, Dólicos, Gandul y Alacín, también llamados cultivos de cobertura, pueden ser utilizados en la alimentación de ganado, aves y cerdos. Sin embargo, lo que hasta ahora más se ha enfatizado en la evaluación de estas plantas es su contribución al mejoramiento del suelo. Una de las limitantes para que en nuestros países no haya una mayor adopción de los cultivos de cobertura ha sido el desconocimiento sobre los usos alternativos de la semilla o el follaje de estas especies. El frijol Mucuna, por ejemplo, en lugares

húmedos puede llegar a producir unos 2.300 kilogramos de semilla y hasta 25 toneladas de follaje por hectárea (Buckles et al., 1994).

1.1) Fijación biológica de nitrógeno en las leguminosas y relación C:N

La fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) es el proceso por el cual algunos microorganismos utilizan el nitrógeno contenido en el aire, reduciéndolo a amoníaco a través de una enzima llamada nitrogenasa para la producción de proteínas. Los microorganismos fijadores de nitrógeno son bacterias y cianobacterias, de vida libre en el suelo, eventualmente asociados a una planta, o viviendo en simbiosis con una planta. Se ha reconocido que las subfamilias Papilionáceas, Mimosáceas y Cesalpináceas poseen la propiedad de aprovechar el nitrógeno mediante la fijación biológica. Las Papilionáceas son Mimosáceas un 25% y las Cesalpináceas sólo unas pocas. Entre las tres subfamilias agrupan 12000 especies con capacidad fijadora de nitrógeno (Paredes et al., 2013).

Los Rhizobium son microorganismos capaces de inducir la formación de nódulos fijadores de nitrógeno atmosférico en las raíces de las plantas de la familia Leguminosae (y en sólo otra no leguminosa, Parasponia). Algunos rizobios también son capaces de inducir nódulos en el tallo de leguminosas (Sesbania, Aeschynomene). Los rizobios se encuentran dentro del orden Eubacteriales y la familia Rhizobiaceae. Son bacilos de 0,5 a 0,9 μm de ancho y 1,2 a 3,0 μm de longitud, son bacterias Gram negativas y no esporulan. Son móviles debido a flagelos peritricos o a un flagelo polar o subpolar (Paredes et al., 2013).

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 et al., 2013).

El proceso inverso equivale a la inmovilización, donde el N puede quedar en la forma orgánica no disponible para plantas (Galdamez et al., 2010, p.18-29). 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 se 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 eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas usadas como abono verde puede oscilar entre un mínimo de 3% y un máximo de 56%. Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas, se citan el estado de madurez de la leguminosa, fecha de su incorporación, tiempo entre la incorporación y la siembra del cultivo y las condiciones de temperatura y humedad del suelo (González et al., 2007, p.13).

La mineralización del N en el suelo depende en gran medida de la relación C:N del material incorporado. Un material vegetal incorporado al suelo con una relación C:N alta se descompone más lentamente en el suelo que un material con una relación C:N baja (Nziguheba et al., 2005, p.240-248). Se ha reportado que plantas con relaciones C:N mayores a 27 inmovilizan N, mientras que plantas con una relación C:N menor a 27 mineralizan N, siendo 25 el valor crítico de equilibrio entre inmovilización y mineralización (Martín & Rivera (2002).

Las leguminosas se degradan en el suelo en forma rápida cuando su relación de C:N es del orden de 9,0. En el caso de gramíneas la relación C:N es de 20 o más, lo cual determina su degradación lenta en el suelo (Sakala et al., 2000, p.679-688).

Las leguminosas sin taninos que se descomponen rápidamente producen una gran cantidad de CO_2 , y consecuentemente aportan poca MO al suelo, pero bastante nitrato (NO_3) que es forma de N más asimilable para las plantas. Alternativamente, leguminosas con taninos que tienen baja relación C:N se descomponen lentamente, dejando un buen residuo de MO y poco N disponible en el suelo, ya que el mismo es utilizado por los microorganismos del suelo para descomponer la leguminosa incorporada y en ese proceso

se transforma en N orgánico no disponible para cultivos en rotación como maíz (Seneviratne et al., 2000, p.60-64).

Un aumento en los niveles de humedad en el suelo puede resultar en aumento de la agregación y porosidad más alta del suelo y en mayor número de macroporos, todo lo cual es conducente a mejores condiciones para la incorporación de MO al suelo por microorganismos, esto a su vez resulta en un aumento del contenido de N en el suelo, sobre todo si la humedad es mayor al 10% (Hartwig & Ammon, (2002) p.688-699).

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 rhizobia y de las plantas, (Gibson et al., 2008, p.413-441).

El establecimiento de una simbiosis rizobio-leguminosa eficiente conlleva una serie de etapas que comienzan con un intercambio de señales entre ambos organismos: las raíces de la planta liberan a la rizosfera flavonoides, moléculas de naturaleza fenólica que promueven la expresión en las bacterias de los genes nod, lo cual origina la síntesis y secreción de lipo-oligoquitinas llamadas factores nod (Geurts et al., 2005, p.346-352). Éstas son percibidas por la raíz de la planta, la cual experimentará diversos cambios dependiendo del tipo de leguminosa. Tener en cuenta para seleccionar una cepa de bacteria, aparte de la especificidad, se deben tener algunas consideraciones básicas como: capacidad de formar nódulos (infectividad) y para fijar N (efectividad), la sobrevivencia en las semillas y en el suelo, la adaptación o tolerancia a situaciones de estrés, la estabilidad genética y la capacidad de crecimiento en las condiciones de producción.

1.2) Características generales de la especie *Canavalia ensiformis* (L.)

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 & 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 Hawaii, Nueva Guinea, Nueva Caledonia); Australia. En Cuba, en las provincias de La Habana, Ciudad de la Habana y Villa Clara (Beyra et al., 2004).

Descripción: Altura 0.6-1m; 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, 21 x 15 x 10 mm, lisas, blancas con un hilo largo de color café rodeado de una zona color castaño.

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 concaavalina 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*). Las hojas controlan los zompos (Atta sp., Acromyrmex sp.). (CIDICCO, 2004).

Toxicidad: Las semillas contienen factores antinutricionales, como un aminoácido libre, canavanina, y las proteínas concaavalina 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.

La concaavalina 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.

Es muy rústica, herbácea y de crecimiento determinado (Embrapa, Agrobiología, 2007). Tiene un ciclo anual que puede llegar a los 9 meses. Alcanza una altura de 0,6 – 1 m, con raíces pivotantes, profundas, tallos poco ramificados, hojas trifoliadas, foliolos grandes, inflorescencia de color violáceo, fruto ensiforme indehiscente de 12 – 20 semillas, oblongas, lisas y blancas (CIDICCO, 2004).

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 49kg.ha⁻¹ de N derivado de la FBN y acumular en sus tejidos vegetales 57kg.ha⁻¹ de N (Embrapa, Agrobiología, 2007).

Se caracteriza por ser poco exigente en condiciones de productividad del suelo para lograr un óptimo desarrollo vegetativo. Tolera 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, p.24).

Agrotecnia: Al estudiar la profundidad de siembra (0 y 15 cm) y el número de labores en la preparación de tierra (Centeno, Gil, Lorenzo, Sánchez & Monasterio, 1983), 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., 1984, p.131). 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 (Escobar et al., 1984, p.131), 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 fotoperíodo 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 et al., 1999) 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.

Marín et al., (2004), al estudiar varias formas de siembra (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, obtuvo los mejores resultados en el método de mitad del camellón (3 220 kg de granos/ha) y en plano (2 609 kg/ha) 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) 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, p.24); 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., 1984, p.131) 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/corte), así como la competencia de malezas (Embrapa, Agrobiología, 2007), lo cual coincide con las experiencias desarrolladas en la EEPF “Indio Hatuey” con leucaena y *Albizia lebbek*.

(Escobar et al., 1997, p.35), 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) sobre la producción de forraje. (Escobar et al., 1984, p.131) encontraron el mayor rendimiento de materia seca (20,76 t/ha) 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 et al., 1999), 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) con el marco de siembra de 100 x 20 cm, equivalente a 50 000 plantas/ha.

En cuanto a la producción de granos, Embrapa, Agrobiología, (2007) encontraron que en un marco de siembra de 60 x 50 cm y una densidad de 33 000 plantas/ha se lograron altos rendimientos (6 910 kg/ha) entre cosechas: mientras que (Marín et al.,1983), al estudiar diferentes densidades y arreglos espaciales, halló los mayores rendimientos en las densidades intermedias (50 000 plantas/ha) 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 (10 977 kg/ha) 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 Oviedo & Guzmán, (1993)p.47.

(Escobar et al., 1997, p.35), 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) 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 et al., 1999), 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,

Oviedo & Guzmán, (1993)p.47 emplearon marcos de siembra de 100 x 25 cm (40 000 plantas/ha) cuando compararon variedades erectas y volubles y obtuvieron rendimientos de granos de 6 846 y 8 496 kg/ha 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.

Marín & Viera (2003)p.86-89 hallaron que las densidades de siembra (25 a 100 000 plantas/ha), la frecuencia de riego (cada 1,203 semanas) y la fertilización nitrogenada (0 a 100 kg/ha), hicieron variar la producción de frutos (983 a 4 850 kg/ha), granos (675 a 2 818 kg/ha) y de forraje post-cosecha (5,4 a 13,3 t MS/ha); 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 y con la mayor frecuencia en la de 100 000 en todos los niveles de nitrógeno.

La altura de corte fue estudiada por (Escobar et al., 1997, p.35), 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, p.24) 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, Agrobiología, (2007) 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 et al.,1991), (Skerman et al., 1991), y (García et al., 2000), citados por (Díaz et al., 2003) 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 *Canavalia 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 hojarasca 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., 1997, p.35).

C. ensiformis presenta además la ventaja de la variabilidad genética que posee, lo cual permite su utilización en diversas condiciones y el trabajo de mejoramiento de 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 et al., 1989, p.41).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, suelo y clima.

La investigación se realizó en áreas de campo de la finca “El Porvenir” perteneciente a la UBPC “Tabloncito” en el municipio de Cumanayagua durante los años 2021 y 2022. A continuación mapa georeferencial del sitio de trabajo:



Figura 1. Finca “El Porvenir”, ubicación georeferencial. Fuente: Ojeda et al., (2021)

El suelo predominante en el área de la Finca es el Pardo grisáceo (Hernández et al., 2015), donde es común la presencia de un horizonte B sílico, como resultado de su formación bajo el proceso de sialitización. Resultan suelo de perfil ABC, formados en relieve ondulado a alomado, a partir de roca ígnea ácida, siendo los granitoides la roca formadora más extensiva en estos suelos.

Las características que definen a estos suelos como tipo genético, diferenciándolos de los otros suelos del tipo Pardo es su nivel más bajo de fertilidad, sobre todo por la textura ligera, menor capacidad de retención de nutrientes y humedad, así como una reacción del suelo más ácida.

Los Subtipos se establecen sobre a base de la presencia de horizonte mullido, características arénicas, humificación, presencia de nódulos ferruginosos y la evolución agrogénica o erogénica (siendo esta última la que se presenta en el área de estudio).

Diseño, procedimiento y muestreo.

El experimento se condujo en un diseño de Completamente a aleatorizado con 20 unidades experimentales de 1m² cada una y los siguientes tratamientos:

1. Abono verde (AV) *Canavalia ensiformis* (L.) en área compacta (AVAC).
2. Abono verde (AV) *Canavalia ensiformis* (L.) intercalada en café (AVIC).

Al área de intervención se le realizó un sistema de laboreo mínimo con tracción animal. La semilla utilizada fue de *canavalia blanca*, con un Valor Agrícola de 94%. Como cultivo antecesor en el área compacta estuvo el maíz (*Zea mays* L.).



**Figura 2. Canavalia en área compacta e intercalada con café en la Finca “El Porvenir”
Fuente: Ojeda y colaboradores (2021- 2022).**

La distancia de plantación utilizada fue de 0.70 m x 0.30 m en el tratamiento AVAC (densidad de 47 619.04 plantas. ha⁻¹) y de 2.80 m x 0.30 m en el tratamiento AVIC, que representó una densidad de 11 904. 76 plantas. ha⁻¹. Destacar que hasta el momento del corte e incorporación de la biomasa no hubo presencia de plagas ni enfermedades en la canavalia. De igual forma resultó muy significativa la disminución de arvenses en el café, al parecer como resultado de la cobertura viva que propició la *C ensiformis*.

Mediciones realizadas

Objetivo 1: 1. Determinar la cantidad de biomasa y de NPK que ofrece *Canavalia ensiformis* (L.) incorporada al suelo, así como la producción de semillas.

El momento de corte e incorporación al suelo fue en la fase de floración y llenado de las vainas. En ambos caso se produjo entre 85 y 87 días. Para la evaluación se tomó un marco de 1m² y las

plantas se cortaron a 10 cm sobre el suelo con machete y se pesaron con un dinamómetro digital. El muestreo se realizó pasada las 9.00 am para disminuir el efecto del rocío en las plantas.



Figura 3: Corte y pesaje de canavalia en las parcelas experimentales, Finca “El Porvenir”. Fuente: Ojeda y colaboradores (2022).

En ambo casos se dejaron sobre el suelo el día del corte y las 48 horas se incorporaron. En el tratamiento AVAC con un pase de picadora ligera, mientras que en el AVIC se utilizó un arado de vertedera para su incorporación. En el tratamiento AVAC el período de sincronía concebido para el cultivo sucesor fue de 21 días (Martín et al., 2013). Los cálculos se realizaron como se indica a continuación:

1) Biomasa:

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

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

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

a) Aporte de Nitrógeno = (Biomasa seca (t ha⁻¹) x % de N) x 10

b) Aporte de Fósforo = (Biomasa seca (t ha⁻¹) x % de P) x 10

c) Aporte de Potasio = Biomasa seca (t ha⁻¹) x % de K) x 10

Para estimar los aportes de NPK se tuvo en cuenta la cantidad de macronutrientes esenciales en la composición de *C. ensiformis* referida por **Calegari & Peñalva (1994)** y citada por **García & Martínez (2010)**, que plantean un contenido foliar de 2.49 % de nitrógeno, 0.15 % de fósforo y 5.62 % de potasio, además de 1.35 % de calcio y 0.63 % de magnesio, un 24 % de materia seca y una relación C/N de 20.10

Para llevar el contenido de fósforo y potasio a las forma asimilable, en el caso del fósforo el valor obtenido se multiplicó por 2.29 que es en kg P₂O₅ y en el K por 1.29.

En la producción de semilla se midieron los parámetros siguientes: total de vainas, cantidad de vainas por plantas, largo y ancho de las vainas, cantidad de granos en la vaina y peso de 500 granos. La cosecha se llevó a cabo entre los 118 y 121 días después de la siembra (DDS).

3) Aporte de Materia orgánica (M.O) al suelo:

Kg de M.O= Peso de materia seca x % de Carbono (C) x K x 1.724, donde:

% C= Porcentaje de carbono (calculado de acuerdo a la Relación Carbono Nitrógeno convertida en tanto por unidad = 0.20.

K1= Coeficiente isohúmico con valor promedio de 0.3 para las leguminosas (Este coeficiente define la cantidad de humus que puede formarse a partir de 1 kg de materia seca de la materia orgánica que se incorpora al suelo).

1.724. Factor requerido para transformar el carbono orgánico a materia orgánica.

Objetivo 2: Constatar la presencia de nódulos de *Rhizobium* en las raíces de *Canavalia ensiformis* (L.).

La evaluación de los nódulos de las raíces se realizó a los 87 días, según Somasegaran & Hoben (1994)p.450, 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, de acuerdo a Pommeresche & Hansen (2017). Para la valoración del tipo de nodulación radical, abundancia, tamaño, color, forma y localización de los nódulos, se utilizó la metodología de (Bergerson et al.,1982) 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 quedarán 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 4.

PARAMETROS PARA LA EVALUACION DE LA NODULACION

ABUNDANCIA		TAMAÑO 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 4. Códigos para la evaluación de cuatro parámetros de la nodulación de plantas individuales de leguminosas forrajeras tropicales.

Objetivo 3: Evaluar indicadores agroquímicos y microbiológicos del suelo antes y después de la incorporación del abono verde.

A inicios del experimento y al final se tomaron muestras del suelo para determinar: pH en cloruro de potasio, por el método **potenciométrico (NC ISO-10390, 1999a)**, materia orgánica por el método Walkley-Black colorimétrico **(NC ISO-51, 1999b)**, fósforo (método colorimétrico de Oniani y potasio asimilable, ambos por la **Norma Cubana ISO-52 (ONN, 1999c)**).

Análisis estadísticos:

Todos los caracteres cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por lo cual se procedió a efectuar un ANOVA de clasificación simple. Para la discriminación de medias se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$), en los casos en que el ANOVA

resultó significativo. Como herramienta de uso, el programa estadístico Statgraphics Centurión XVI (StatPoint Technologies, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 5 muestra la producción de biomasa que aportó la canavalia previa incorporación al suelo. Se aprecia que en el tratamiento con el área compacta (AVAC) la biomasa verde fue mayor, con diferencias estadísticas significativas del tratamiento intercalado dentro del cafeto (AVIC). Dicha respuesta pudiera estar dada por una mayor densidad de plantación en AVAC que permitió una cantidad superior de plantas por superficie y por ende una biomasa mayor.

Se pudo apreciar en el tratamiento AVIC, aun con una densidad de plantación menor, un desarrollo muy vigoroso de las plantas y además la formación de un “colchón” en la superficie del suelo con toda la hojarasca desprendida y restos de tallos que disminuyeron la presencia de arvenses en la zona bajo cobertura del cafeto y además facilitaron una disponibilidad de materia orgánica, a partir de la descomposición de los desechos orgánicos. Al remover el suelo en esa zona de la rizosfera pudo apreciarse la presencia de lombrices y otros insectos de la macrofauna del suelo.

Al respecto, (De la cruz et al., 2015, p.61), refiere que el “acolchado orgánico” formado por la descomposición del abono verde de *C. ensiformis* puede reducir la evaporación y favorecer la infiltración del agua en el perfil del suelo, además de mejorar la agregación de las partículas del suelo y su estabilidad frente al factor hídrico, a la vez que incrementan la porosidad. Estos aspectos pueden ser evaluados a mediano y corto plazo en el trabajo.

(Ángel et al., 2008) en estudios de campo encontró que la canavalia puede producir entre 40-50 t/ha de material verde. En otro estudio realizado por (Sánchez et al., (2008, p.217-225), en la Mojana (Costa Caribe de Colombia), se evaluó el potencial de algunos abonos verdes como crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), canavalia (*Canavalia ensiformis* L.), frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.) y vitabosa (*Mucuna de-eringianum* L.), para mejorar la capacidad productiva de suelos arroceros. La especie *Crotalaria juncea* L. sobresalió por su alta productividad de biomasa (11.6 t Materia seca.ha⁻¹).

Destacar que *Canavalia ensiformis* es una especie de abono verde que se caracteriza por la rápida descomposición y aportes de nutrimentos que influyen en la nutrición nitrogenada de cultivos (García et al., 2017, p.7-12).

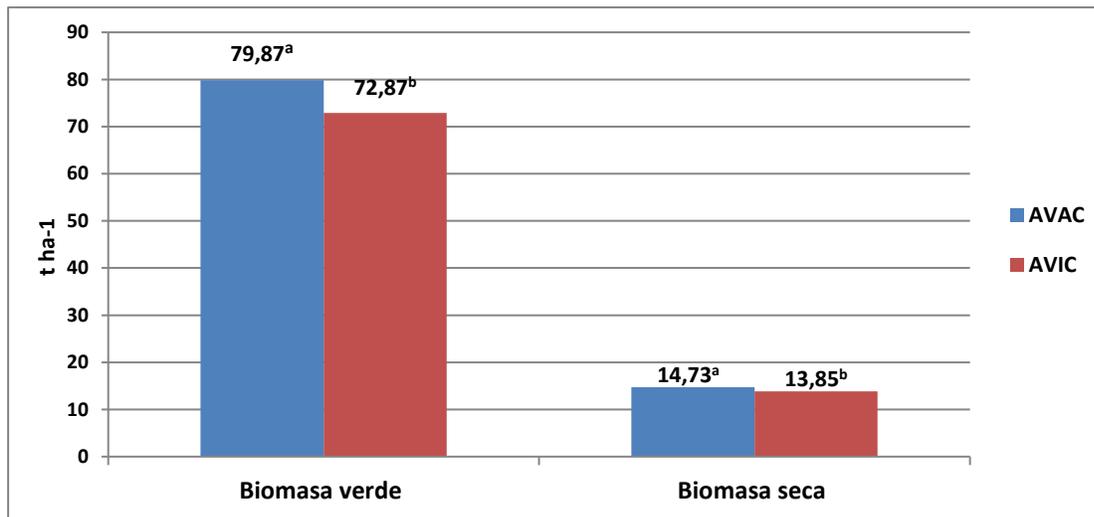


Figura 5. Biomasa *Canavalia ensiformis* (L.) aportada al suelo

ES±: 2,732*, 3,117* Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Respecto a la biomasa seca, la misma mantuvo un comportamiento estadístico similar a la biomasa verde, aunque evidentemente con una disminución marcada de la masa, propio de la pérdida de agua, una vez deshidratada en condiciones de laboratorio.

Torres & Torres (2019), en investigaciones con *C. ensiformis* como cultivo de cobertera encontraron aportes de materia seca al suelo entre 16 y 20 toneladas por hectárea en la fase de floración, sin incluir las vainas, ni las raíces que son estructuras de la planta que acumulan una alta cantidad de biomasa.

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 Creamer &

Baldwin (2004; (Espíndola et al., 2004, p.24), (Astier et al., 2006). Lo anteriormente expuesto justifica la evaluación de *C. ensiformis* en la Finca “El Porvenir” 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.

Los resultados obtenidos en cuanto al aporte de biomasa, permiten coincidir con (Padrón, et al., 2020, p.278-287), 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), p.711-729) reportó un aporte de 8900 kg/ ha de masa verde de canavalia en condiciones de producción.

En la Figura 6 se aprecian los aportes de NPK del abono verde de *C. ensiformis* que reciclarían al suelo. El comportamiento mostró mayor cantidad en el tratamiento AVAC, aunque muy cerca del AVIC; en todos los casos persisten diferencias estadísticas significativas.

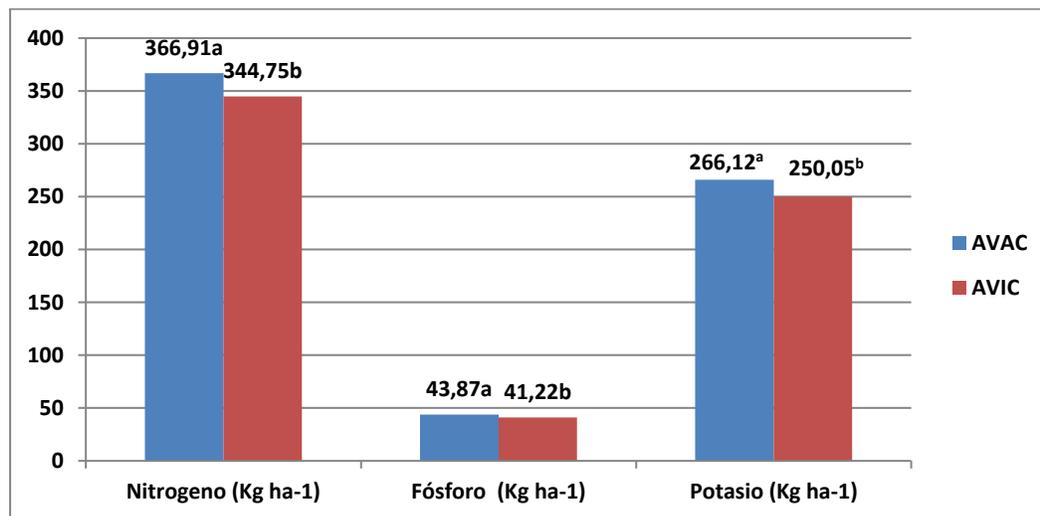


Figura 6. Aporte de nitrógeno, fósforo y potasio al suelo por el abono verde

ES±: 3,650*, 2,475*, 3,419* *Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey (P≤0,05)*

(Seneviratne et al., 2000, p.60-64), consideró que la eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas usadas como abono verde puede oscilar entre un mínimo de 3% y un máximo de 56%. Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas, se citan el estado de madurez de la leguminosa, fecha de su incorporación, tiempo entre la incorporación y la siembra del cultivo y las condiciones de temperatura y humedad del suelo. En este caso la incorporación se realizó en el momento de la floración, con buena humedad del suelo y un período de sincronía estimado en 21 días.

Es muy importante trabajar sobre alternativas de sustitución de fuentes nitrogenadas provenientes de síntesis, (Sosa 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%; de ahí la importancia de acudir a alternativas biológicas de fijación del nitrógeno al suelo.

La eficiencia de uso del N fijado por leguminosas es normalmente un 10 a 20% menor que la del N adicionado como fertilizante químico (Chikowo et al., 2006, p.219-231). 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 y la demanda del cultivo (Seneviratne et al., 2000).

(Smyth et al., 2004) presentan resultados experimentales en los que el abono verde aportó entre 15 y 200 kg / ha de N, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹ de N. Las variaciones en aporte de N son debidas a la producción de materia seca de la leguminosa y al manejo del barbecho y del cultivo. Los resultados alcanzados en el trabajo superaron en un 72 y 83% respectivamente al aporte alcanzado por estos autores. Esta respuesta pudo estar dada por el buen estado fisiológico y fitosanitario de las plantas en el momento del corte que propició una mayor cantidad de masa verde disponible a incorporar.

El N liberado de los residuos de plantas incorporados al suelo depende de una serie de factores incluyendo composición química y concentración de N en el tejido vegetal, temperatura, y disponibilidad de agua en el suelo (Martín & Rivera (2002)). La descomposición y liberación del N generalmente es más lenta en residuos de abonos verdes que tienen una alta relación C/N y

altos contenidos de lignina y polifenoles (Palm et al., 2001, p.27-42). La relación C/N de la *C. ensiformis* es de 20:1, rango que la considera muy favorable para una descomposición rápida y una mejor mineralización del nitrógeno.

Con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación, sobre todo si las leguminosas tienen taninos (Seneviratne et al., 2000, p.60-64). En estudios en Brasil se ha reportado que entre el 85 y el 95% del N proveniente de abonos verdes de *Mucuna*, *Canavalia* y *Crotalaria* en el suelo fue absorbido por el cultivo de maíz en los primeros 29 días después de la germinación, indicando una rápida mineralización (Chikowo et al., 2006, p.219-231). De ahí que el período de sincronización entre la incorporación y la siembra del cultivo sucesor estimado sea de 21 días, en consonancia con los resultados de Martín & Rivera (2015) p.34-50, que estudiaron períodos de tiempo entre 7 y 21 días para la incorporación.

Resultados de experimentos conducidos en Cuyuta, Guatemala, mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna* spp. y *Canavalia ensiformis* manejados bajo cero labranza (cobertera) fue de alrededor de 60 kg N/ha, 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 (Pound et al., 2000, p.97-120).

Canavalia ensiformis (L.) se le considera menos agresiva que el fríjol terciopelo, apta para condiciones extremas de sequía, pobreza y acidez en los suelos y sombrío. Por ello, se la recomienda en suelos marginales. Llega a fijar hasta 240 kg N total.ha⁻¹ (Ángel et al., 2008).

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, p.17-23).

También en Brasil, se realizó una evaluación de las leguminosas *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis* y *Canavalia ensiformis*, como abonos verdes para el cultivo de maíz, donde para el primer año no se encontraron diferencias en la producción

de grano a través de los tratamientos, solo en el segundo se observaron las mayores producciones (20%) asociadas al tratamiento que tenía *Canavalia ensiformis* como abono (Pound etn al., 2000, p.97-120). El trabajo realizado contempla el seguimiento y evaluación del cultivo sucesor, que en este caso es tabaco y el cafeto.

Fischler & Wortmann (2009), 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.

C. ensiformis es una leguminosa que fija grandes cantidades de nitrógeno por simbiosis, y proporciona condiciones adecuadas al suelo. Es considerada la mejor leguminosa para enfrentar frecuentes sequías en una región dada, esta especie es sumamente resistente a períodos secos y a la tierra deteriorada, produce alrededor de 60 t ha⁻¹ de biomasa, fija hasta 240 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Bunch et al.,2016, p.8-6).

Se debe tener un claro conocimiento del ciclo del N y los procesos donde se puede generar más pérdida, donde con la incorporación de abonos verdes de leguminosas de adecuada relación C: N (<25), se logra tener una mineralización en el suelo, además de coincidir con el momento de mayor demanda del cultivo de interés (Seneviratne et al.,2000, p.60-64).

Al conocer y explicarles a los productores en el campo sobre las ventajas del uso de la canavalia como abonos verdes opinaron que “los abonos verdes son buenos porque dan materia orgánica al suelo y lo hacen más suave para cultivar y para la planta”, además “aparece debajo del café un manto de hojas que protege el suelo, lo mantiene húmedo y detiene la presencia de malas yerbas”, otros opinaron que “los abonos verdes son buenos porque hacen que la capa de tierra se haga más gruesa y haya más tierra para las raíces de las plantas”, por su parte los directivos de la finca adoptan esta práctica por encontrar respuesta muy favorable de los cultivos sucesores a la incorporación del abono verde al suelo (Lázaro Jesús Ojeda Quintana. Comunicación personal 2022).

La Tabla 1 muestra el resultado de la evaluación morfo-cultural de la nodulación espontánea asociada a *C. ensiformis* en ambos tratamientos.

Tabla 1. Evaluación morfo-cultural de la nodulación espontánea por *rhizobium* en *C ensiformis*.

Tratamientos	Abundancia/Nro de nódulos	Tamaño	Nódulos/raíz principal	Color predominante
AVAC	50-100 nódulos (Cat-3)	2 y 3	Nulo (Cat-1)	Rojo-verde (Cat-4)
AVIC	más de 100 nódulos (Cat-4)	3 y 4	Nulo (Cat-1)	Rojo (Cat-8)

Se aprecia que en el tratamiento AVAC hubo menor abundancia de rizobios nativos, con un tamaño mediano (4.0 mm) y un color interno predominante, que varió de rojo a verde. En el tratamiento donde *C. ensiformis* estuvo intercalada con el cafeto (AVIC) la abundancia y el tamaño de los nódulos fue superior, mientras que el color predominante fue el rojo. Respecto a la forma, los nódulos colectados se consideraron, en general, esféricos, ramificados, parecen corresponder con el tipo de nódulos determinados con una acción meristemática temporal (Bianco et al., 2020, p.21-29).



Figura 4. Evaluación de la nodulación espontánea de *C. ensiformis* a los 87 días

Los nódulos que están activos y que fijan N mantienen una consistencia firme, contienen una proteína pigmentada llamada leghemoglobina. Su presencia da como resultado una coloración rojiza en el interior de los nódulos, y al abrirlos, sus tejidos liberan una savia de color rojo. Esto indica que las bacterias están vivas y activas. Algunos nódulos encontrados se muestran en la Figura 5.



Figura 5. Nódulos activos (1,2) e inactivos (3) encontrados en los tratamientos

Los nódulos que han muerto, o que están inactivos, o senescentes, suelen tener en el interior una coloración interna oscura o negra. Cuando están vacíos se tornan verde grisáceo o marrón, grises y blancos con una consistencia esponjosa. Esto sucede generalmente tras la floración de la planta. Los nódulos vivos que tienen una coloración interna verde o blanca son inactivos; los nódulos con coloración roja a rosada no siempre son activos, pero tienen mayor probabilidad de serlo. **Pommeresche & Hansen (2017).**

De forma general predominó un mayor porcentaje de nódulos activos, o con tendencia a serlos y en menor cantidad nódulos muerto e inactivos.

En ambos tratamientos los nódulos estuvieron mayormente localizados en las raíces secundarias de forma uniforme. **Pommeresche & Hansen, (2017),** 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 1.

Intercalar canavalia entre plantaciones establecidas de cafeto (tratamiento AVIC) logró una calidad vigorosa de las plantas entre las calles del café. Hubo un acolchonamiento en el suelo de hojarasca, proveniente de la caída de las hojas más viejas y restos de tallos, lo que favoreció una mejor humedad del suelo, ya a partir de los 20 días de la plantación. Esto pudo favorecer una mejor temperatura del suelo, factor que puede incidir de forma favorable en la respuesta de la bacteria, ya que a partir de 45 °C, la nodulación se inhibe, según (Cobo et al. 2002).

López & Sistachs (1986) p.231 (Tang et al.,1996, p.131), 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.

Bécquer & Prévost (2014), evaluaron el potencial de formación de nódulos de rizobios aislados de *Centrosema spp.* y *Stylosanthes viscosa* para su aplicación futura en la práctica agrícola y encontraron que todos los rizobios aislados formaron nódulos en *Macroptilium atropurpureum*. Sin embargo, en *Lupinus angustifolius*, constituyeron nódulos del 14 al 29 % de aislados de la zona centro, así como del 20 al 67 % de los de la zona sur. No hubo nodulación en *Glycine max*, ni en *Medicago sativa*, excepto con las cepas de referencia utilizadas. Estos autores consideran que el estudio de rizobios adaptados a nuevos ecosistemas conlleva, no solo al aporte de nuevos conocimientos acerca de su diversidad genética, sino también a la selección de cepas con capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, en simbiosis con leguminosas de interés.

En el trabajo no se utilizaron inoculantes comerciales, pero se coincide con Bodrego & Enrico (2005) respecto a los efectos que puede provocar el estrés hídrico sobre la nodulación. Estos autores refieren que aun utilizando inoculantes de excelente calidad y una técnica de inoculación muy buena, un estrés hídrico ocurrido inmediatamente después de la siembra, mata las bacterias que no han iniciado el proceso de nodulación y, si éste se prolonga, promueve la autorregulación de la planta para evitar la formación de nódulos.

Una vez establecido el sistema nodular, la ocurrencia de estrés hídrico durante el ciclo puede provocar, si es extremo, la abscisión de los nódulos ya formados y, si es moderado, el compromiso de la actividad de la enzima nitrogenasa, disminuyendo el rendimiento del cultivo, a través del control de la FBN López & Sistachs (1986) p.231. Esto se debe fundamentalmente a la interrupción de los tres mecanismos de invasión de las raíces por el rizobium: hilos de infección en los pelos radicales, crack entry o a través de las células epidérmicas de la raíz. Señalar que en los primeros 21 días posteriores a la siembra de la canavalia hubo un ligero estrés hídrico por falta de precipitaciones, pero posteriormente y hasta la cosecha se mantuvieron condiciones muy favorables de humedad del suelo

En observaciones aleatorias realizadas en la Finca en plantaciones aisladas de *C. ensiformis* durante los años 2019-2020, y tras un período de intensa sequía en los primeros 35 días posteriores a la siembra se pudo constatar una presencia de nódulos escasa y de menor tamaño, sin embargo ya en los 70 días, cuando el nivel de precipitaciones fue mayor, hubo un incremento de nódulos en las plantas, en su mayoría activos. Esto puede coincidir con lo planteado anteriormente por López & Sistachs (1986) p.231.

En especies sujetas a condiciones ambientales como sequía o inundación, se observan algunas modificaciones en la estructura interna, como la formación de peridermis y lenticelas los rizobios invaden las raíces a través de tres mecanismos: hilos de infección en los pelos radicales, crack entry o a través de las células epidérmicas de la raíz. La Figura 6 muestra el comportamiento de la producción de semillas de *C. ensiformis* en el ensayo realizado con este propósito.

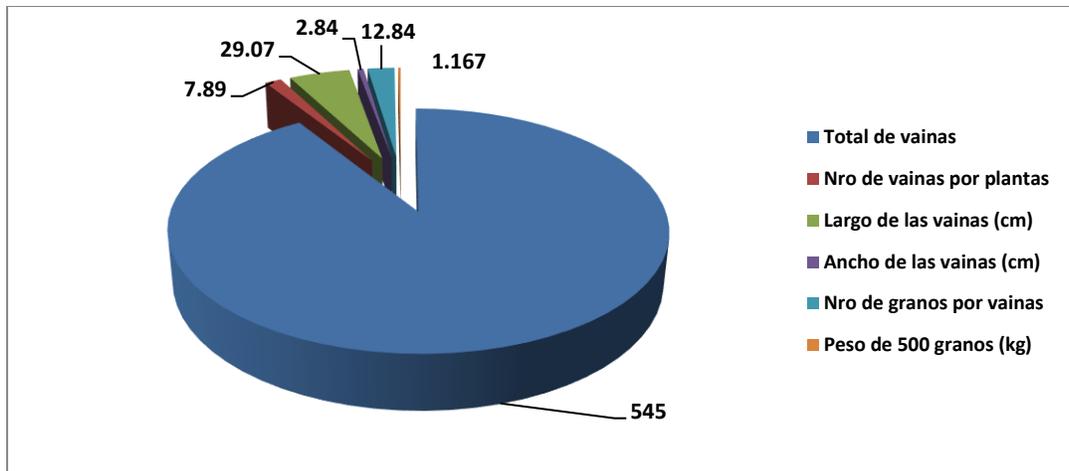


Figura 6. Comportamiento de la producción de semillas de *C. ensiformis*

Se totalizaron 545 vainas para un promedio de 7.89 vainas por planta, con 29.07 cm de largo y 2.84 cm de ancho y 12,84 granos por vainas respectivamente. El peso de 500 granos de canavalia fue de 1.167 kg. Esto reportó una producción de semilla de 2814.72 kg en 0.67 ha, equivalente a 4201.08 kg. ha⁻¹, que corresponde a 4.2 t. ha⁻¹ de semilla producida. Este resultado indicó el alto potencial de esta leguminosa para producir semilla y como el manejo practicado en el área de intervención favoreció el desarrollo de esta especie de leguminosa, aun en condiciones de baja fertilidad natural.

(Escobar et al., 1984, p.131) emplearon marcos de siembra de 100 x 25 cm (40 000 plantas/ha) 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.

(Ampomah et al., 2012, p.133-148), señalan que como mismo las leguminosas son capaces de producir una buena cantidad de biomasa y mejorar la calidad del suelo, también alcanzan muy buena producción de semilla.

En las siembras de septiembre, los cultivos aprovechan las precipitaciones para el crecimiento vegetativo pre-floral e iniciar la movilización de los nutrientes y llenado de los frutos, de manera que la maduración ocurre en la época poco lluviosa. Esto permitió, además, aprovechar

eficientemente las adaptaciones que tienen estas plantas para tolerar el déficit hídrico, y la decreciente duración del día en el lapso indicado logró favorecer el inicio de la floración y una mayor producción de granos. (Díaz et al., 2003).

(Morrison et al., 2005, p.139-146) refieren que *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformis* producen semilla en cualquier época del año. Sin embargo es preferible sembrar en agosto/septiembre para obtener cantidad y calidad de semilla en época seca (diciembre-enero), por su parte, (Castro et al., 2018) encontró bajo condiciones óptimas de crecimiento y fertilidad *C. ensiformis* puede producir 1820 kg/ha de semilla.

(Viera et al., 1989, p.41) 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. En el trabajo la misma fue cosechada entre los 118-121 días, en plena madurez de las vainas.

Autores como (Díaz, et al., 2003) refieren que esta especie de leguminosa necesita un período de tiempo más largo para la formación y el llenado de sus frutos, ya que el gran tamaño que alcanzan sus vainas hace que su aporte al rendimiento de la planta sea superior. Al ocupar la componente hoja + vainas, 86 % de la producción total de los forrajes integrales, logra una alta producción de grano, una vez alcanzada la madurez fisiológica de sus frutos. De forma general la producción de semillas obtenidas en el trabajo bajo condiciones de producción resultó muy favorable, no solo a los efectos de garantizar próximas cosechas, sino también por aportes al componente económico de la forma productiva.

La Tabla 2 muestra el aporte de Materia orgánica (M.O) al suelo de acuerdo a la biomasa seca incorporada, el comportamiento del pH y la materia orgánica al inicio y 35 días posterior a la incorporación del abono verde. Se aprecia como hubo diferencias entre los dos tratamientos respecto a la cantidad de materia orgánica aportada al suelo procedente de la biomasa, con mayor cantidad en AVAC, lo que se corresponde con una mayor cantidad de biomasa seca obtenida en este tratamiento.

Tabla 3. Aporte de Materia orgánica al suelo y pH y materia orgánica en el suelo

Tratamientos	Aporte de Materia orgánica (kg ha ⁻¹)	pH		Materia orgánica en el suelo (%)	
		Inicio	35 días	Inicio	35 días
AVAC	1523,67 ^a	5,76	7,69	2,3	8,0
AVIC	1432,64 ^b	5,89	7,80	2,9	7,6
ES±:	2,021*	-	-	-	-

Letras distintas en la misma columna difieren entre sí, Tukey ($P \leq 0,05$)

Los valores de pH y contenido de materia orgánica en el suelo se elevaron drásticamente en ambos tratamientos, e indican una alcalinidad débil, característica de suelos con menor fertilidad natural. Se debe continuar la evaluación de estos indicadores en el tiempo.

Resulta significativamente alto el porcentaje de incremento de la materia orgánica en el suelo alcanzado en relación al inicial en tan solo 35 días (Medina-Méndez et al., (2006) encontraron que el cultivo de mango puede incrementar el contenido de materia orgánica del suelo, hasta alcanzar valores de 5,55 a 5,82% en un periodo de entre 16 y 20 años, similares a los de un sistema de vegetación de bosque natural, de 5,36%.

(Renté et al., 2018, p.59-64) encontraron que el empleo de la leguminosa *Canavalia ensiformis* como abono verde/cultivo de cobertura mostró un efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo, efecto que fue superior cuando la leguminosa se incorporó al suelo después de su corte a los 80 días y cuando se mantuvo de forma permanente 120 días en un suelo Fluvisol Diferenciado en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Huerto Santiago 2, en el municipio Santiago de Cuba.

Para efectos de este trabajo la leguminosa *Canavalia ensiformis* puede mejorar la fertilidad y disminuir la erosión del suelo como abono verde por su rápido crecimiento y aporte de nitrógeno al suelo, los abonos verdes son una práctica agroecológica que en el suelo estimula el crecimiento y la actividad biológica, mineralización de los nutrientes que las plantas necesitan, esto incrementa la fertilidad y calidad de los suelos a largo plazo (Machicado Paco et al., 2018).

Con el uso de leguminosas, se incrementa el ciclaje del N gracias al potencial de fijación de este elemento desde el estado gaseoso N₂ hasta formas amonificadas que posteriormente se

bioacumulan en moléculas ricas en nitrógeno y que también, en parte, se nitrifican. Sin embargo, hay otros elementos que pueden ser absorbidos, sintetizados y posteriormente devueltos al suelo tras la incorporación del material vegetal procedente de los restos de leguminosas, lo que pudiera corroborar el incremento del contenido del pH y de materia orgánica en el suelo, aun en un momento en que no se ha completado del todo la descomposición del abono verde.

La incorporación de la biomasa de los AV hace que se conviertan rápidamente, en sustrato y sufra un proceso de mineralización en el suelo, gracias a la acción de la biota presente propicie elementos nutricios que las plantas pueden plantas pueden absorber con facilidad. El proceso se influye por factores como temperatura, pH, textura y humedad en el suelo y donde la relación C/N es determinante cuando se aplican los AV pues interviene directamente en la actividad biológica y, por tanto, en la mineralización rápida o lenta (Gallego et al., 2010). En este caso la C. ensiformis muestra una relación C/N de 20:1, lo que pudo facilitar una descomposición más rápida, máxime cuando hubo una humedad del suelo favorable posterior a la incorporación debido a la incidencia de precipitaciones.

La materia orgánica es un factor que limita, considerablemente, la producción de nódulos y la actividad específica de los nódulos, de igual forma las carencias de fósforo disminuyen notablemente la formación de nódulos y, por consiguiente, la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN). Se considera que para una adecuada simbiosis, los suelos deben estar provistos con 20 ppm de P asimilable (45,8 mg.100 g de suelo deP₂O₅) y tenores superiores de materia orgánica. Este crecimiento en relación al contenido inicial indica cuan favorable resulta el aporte del abono verde al contenido del suelo.

La humedad del suelo ejerce, así mismo, un notable control sobre la acumulación de materia orgánica. En condiciones de suelo comparables, la materia orgánica aumenta a medida que la humedad efectiva del suelo se hace mayor. La explicación no sólo está en la rapidez de acción microbiana en áreas de moderado poca lluvia, sino también en la más pobre vegetación de estas regiones.

La textura del suelo es otro factor influyente. Los suelos arenosos, por ejemplo, contienen normalmente menos materia orgánica que otro de textura fina. Esto es debido, concretamente a la

menor humedad contenida y a la más rápida oxidación, ya que son suelos bien aireados. En cambio, los suelos de textura fina, a causa de sus altas cifras de humedad y poca aireación, son casi siempre mucho más ricos. Finalmente, y dentro de las características y condiciones del suelo, su reserva de calcio, la erosión y el tipo de su vegetación, deben considerarse también factores influyentes.

CONCLUSIONES

1. *C. ensiformis* como abono verde incorporó más cantidad de biomasa seca al suelo en el tratamiento de área compacta (AVAC) que cuando estuvo intercalada dentro del café (AVIC).
2. El aporte de NPK al suelo a través del reciclaje del abono verde de *C. ensiformis* mostró niveles superiores en el tratamiento AVAC, con valores de 366,91, 43,87 y 266,12 kg. ha⁻¹ respectivamente.
3. Se constató la presencia de rhizobium nativo en las raíces de *C. ensiformis*, con una nodulación espontánea superior en el tratamiento AVIC y predominio de nódulos activos de color rojo, tamaño mediano y forma esférica. En ambos tratamientos los nódulos estuvieron mayormente localizados en las raíces secundarias de forma uniforme.
4. La producción de semilla registró un promedio de 7,89 vainas por plantas con una media de 12,84 granos por vainas, para un rendimiento de 4201,08 kg. h⁻¹.
5. La incorporación de *C. ensiformis* como abono verde mostró incrementos del pH y materia orgánica en un primer muestreo realizado 35 días después de su incorporación.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la incorporación al suelo de *C. ensiformis* como abono verde en una tercera campaña.
2. Extender las mediciones de los principales componentes de la fertilidad del suelo posterior a los 35 días de incorporado el abono verde hasta la plantación del cultivo sucesor.
3. Socializar los resultados de esta investigación como material docente para contribuir al incremento del conocimiento en esta rama del saber e incorporarlo a la extensión agropecuaria.

REFERENCIAS

- Álvarez, M.; García, M. & Treto, E. (1995). Los abonos verdes: una alternativa natural y económica para la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 16(3), 9–24.
- Ángel D. I. (2008). *Evaluación de Abonos Verdes en el Sistema de Producción Maíz – Leguminosas*. (Tesis Ingeniería agronómica). Universidad Nacional de Colombia.
- Arshad, M.; & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agricultural Ecosystem Environment*. (88),153 – 160.
- Altieri, M.; & Koohafkan, P. (2008). Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities. *Penang: TNW*.
- Ampomah, O.Y.; James E.K.; Iannetta P.P.M.; Kenicer G.; Sprent J.I. & Huss-Dannel K. (2012). Nodulation and ecological significance of indigenous legumes in Scotland and in Sweden. *Symbiosis*, (57) 133-148.
- Bunch R. (2003). Adoption of green manure and cover crops. *Leisa* (19), 16-18.
- Beyra, AG. & Reyes, L. (2004). *Revisión taxonómica del género Canavalia DL (Leguminosae- Papilionoideae) en Cuba*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. <http://www.acefyn.org.co/PubliAcad/Periodicos>.
- Bodrero, S. & Enrico M. (2005) *Comportamiento de inoculantes para soja en la zona sur de la provincia de Santa Fe, Argentina*. (Tesis de Grado). Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.
- Barroso, G. R. P.; Carvalho, J. O. M.; dos Santos, M. R. A.; Ferreira, M. G. R. y Marcolan, A. L, (2009). “Teor de macronutrientes em plantas utilizadas como adubo verde”. *Saber Científico*, 2(1),37-42.

Barahona, R; Sánchez, MS; Murgueitio, E & Chará, J. (2014). Contribución de la *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit. a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia. *Revista Carta Fedegán*, (140), 66-69.

Bécquer, C. J. & Prévost Danielle. (2014). Potencial de formación de nódulos en leguminosas forrajeras y de granos de rizobios, nativos de Sancti Spíritus, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48 (3).

Bunch R. (2016) ¿Cómo prohibir las sequías? Aprendiendo de los africanos que ya aprendieron de los latinoamericanos. *Revista de Agroecología*, 32(2), 8–11.

Bianco, L (2020). Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *En IDESIA*, 38(2), 21-29.

Cobo JG, Barrios E, Kass DCL, Thomas RJ. (2002). *Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical volcanic-ash soil*. http://www.cidicco.hn/especies_av_cc.

Creamer, N.G., Ballwin, K.R. (2004). *Summer cover crops, 2/99–HIL-37 North Carolina Cooperative Extension Service*, North Carolina A & T State University, North Carolina, USA.

Cherr. (2006). Green manures as nitrogen source for sweet corn in a warm – temperate environment. *Agronomic Journal*. (98), 1173 – 1180.

Chikowo R, Mapfumo P, Leffelaar PA, Giller KE. (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)219-231.

Castro, E., Rodríguez, J. E. M., Fornaguera, J. E. C., & Lascano, C. E. (2018). Abonos verdes de leguminosas: Integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729.

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.) *Saber Científico*, 2 (2), 45-55.

Díaz, M. F., González, A, Padilla, C. y Curbelo, F. (2003). Comportamiento de la producción de forrajes y granos de *Canavalia ensiformis*, *Lablab purpureus* y *Stizolobium niveum* en siembras de septiembre. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(1).

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.

De la cruz Cardona (2015). *Contribución de abonos verdes a la producción sostenible de caña de azúcar Saccharum Officinarum (L.), en la hacienda La floresta del municipio de Bugalagrande-Valle del Cauca*. [Tesis de Diploma]. [Colombia]: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas.

Escobar, A.; Viera, J.; Dixon, R.; Mora, M. & Parra, R. (1984). *Canavalia ensiformis: Una leguminosa para la producción animal en los trópicos* IPA. Informe anual 87. 131

Escobar, A.; Paredes, L. & Fernandez, (1997). Suplementación de becerros predestete con harina de *canavalia* (grano molido). IPA. Informe anual, 35

Espíndola, J.A.A.; de Almeida, D.L. & Guerra, J.G.M. (2004). *Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica*. (Tesis de diploma) Documentos (174). Embrapa, Agrobiología. 24.

Etchevers J. D; Vergara M. A; Acosta M; Monreal C. M. & Jiménez L. (2005). Soil organic carbon, quality index, and soil fertility in hillside agriculture. *Climate Change and Global Food Security*. 589-604.

Embrapa, Agrobiología. (2007). Base de dados. Leguminosas. [http:// intranet2.cnpab.embrapa.br/leguminosas/detalhesbusca.asp?cod_id=12&tema=resumo](http://intranet2.cnpab.embrapa.br/leguminosas/detalhesbusca.asp?cod_id=12&tema=resumo).

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 Agrobiologia*, (24).

Fischler M, Wortmann CS. (2009). Green manures for maize–bean systems in eastern

Uganda: Agronomic performance and farmers' perceptions. *Agroforestry Systems* (67), 123–138.

Florentín, M.A.; Peñalva, M.; Calegari, A. & Derpsch, R. (2009). *Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. Proyecto "Conservación de suelos" MAG – GTZ.*

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.

Geurts, R.; Fedorova, E. & Bisseling, T. (2005). Nod factor signaling genes and their function in the early stages of *Rhizobium* infection. (8), 346-352.

González, N (2007) Fijación de nitrógeno en soja: inoculantes, situación actual y perspectivas en la Argentina. Laboratorio de Microbiología de Suelos, *INTA EEA Balcarce*, (13).

Guerra, J.G.M. & de Almeida, D.L. (2008) *Adubação verde com leguminosas para o cultivo de hortaliças. Congresso Científico del INCA*. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Gibson, K.E.; Kobayashi, H. & Walker, G.C. (2008). Molecular Determinants of a Symbiotic Chronic Infection. *Ann RevGen*, (42), 413-441.

García, O. I.; & Acosta, L. E. (2009). Resguardos indígenas y conservación del medio ambiente: Particularidades de la Amazonía colombiana. *Colombia Amazónica*, (4), 173-186.

Galdámez, J; Aguilar, C. E; Gutierrez, A; Morales, J, A; Mendoza, S; & Martínez, F. (2010). Maíz asociado con frijol, *canavalia* (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(10) 18-29.

Gallego J; Prager M.; & Sánchez de P. (2010). *Efectos de dos abonos verdes sobre la mineralización del nitrógeno y la dinámica de las bacterias oxidantes del amonio y del nitrito en un ciclo productivo de maíz (Zea maíz L). Memorias del II congreso internacional de agroecología. Memorias del VI simposio nacional de Agroecología, Unicauca Popayán Colombia.*

García R. M.; R. Rivera E.; Y. Cruz H.; Y. Acosta A.; & J. R. Cabrera (2017). Respuesta de *Canavalia ensiformis (L.)* a la inoculación con diferentes cepas de hongo *micorrízico* arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*, (38), 7-12.

Hartwig NL.; & Ammon HU. (2002). *Cover crops and living mulches*. *Weed Sci.* 50:688–699.

Holt-Gimenez E. (2002) Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture Ecosystems & Environment* (93),87-105.

Hernández Y. E.; Alfaro., D.; Medero.; & E. Figueroa (2009). Las coberturas vivas en sistemas de cultivos agrícolas. (*Temas Ciencias y Tecnología*), 13(38), 7- 16.

Jaime, V.; & Rodríguez, A. (2008). Integración de mi croorganismos benéficos (hongos *micorrízicos* y bacterias *rizosféricas*) en agrosistemas de las Islas Canarias. *Agroecología*, (3), 33 – 39.

Jaramillo, R. (2011). La *micorriza arbuscular* (MA) centro de la rizósfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Revista Contactos* (81), 7–23.

López, M.; & Sistachs, E. (1986). *Bacteriología de las leguminosas tropicales. En: Los Pastos en Cuba*. Instituto de Ciencia Animal.

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. *Venezuelos*, (19), 45-54.

Marin, D.; & Viera, J. (2003). Rendimiento en granos de *C. ensiformis* (L.). *Erecta con diferentes densidades de siembra, frecuencia de riego y dosis de nitrógeno*. IPA. Informe anual'85/86. 29.

Muraoka, T.; Ambrosano, 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.

Martín, G. M. (2002b). *Mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y su participación en la nutrición nitrogenada del maíz (Zea mays L.), cultivado sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana*. [Tesis de Maestría], INCA.

Morrison R.J.; & Gawander J.S. and Ram A.N. (2005). *Proceeding International Society of Sugar Cane Technologists XXV Congress*. Guatemala, 139-146.

Mateus, G.P.; & Wutke, E.B. (2011). Especies de leguminosas utilizadas como abonos verdes. *Pesquisa y Tecnología*, 8(103), 316-514.

Martín, G.; Rivera, R.; & Pérez, A. (2013). Efecto de la canavalia, inoculación micorrízica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 60-67.

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.

Machicado Paco, C. (2018). Evaluación del cultivo de la canavalia (*Canavalia ensiformes* L.) para producción de abono verde en el municipio de Luribay comunidad de Achocara alta [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/20574>.

Nziguheba G.; & Merckx R, Palm CA. (2005). Carbon and nitrogen dynamics in phosphorusdeficient soil amended with organic residues and fertilizers in western Kenya. *Biol.Fertil. Soils*. 41, 240-248.

Oviedo, N.; & Guzman, P. (1993). *Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de granos de *Canavalia ensiformis**. IPA Informe anual.47.

ONN. Determinación del pH. NC-ISO 10390. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999a.

ONN. Determinación de materia orgánica en suelo. NC-ISO 51. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999b.

ONN. Determinación de las formas móviles de potasio y fósforo. NC-ISO 52. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999c.

Pound B. (2000). *Cultivos de cobertura para la agricultura en América Latina*. En: *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. 97-120.

Paneque, V.; & Calaña, S. (2002). *Abonos Orgánicos, concepto práctico para su evaluación y aplicación*. *Encuentro Provincial de Agricultura Orgánica*.

Palm CA.; Gachengo CN.; Delve RJ.; Cadisch G.; & Giller KE. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture Ecosystem Environ.* 83, 27-42.

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.

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. En revista *Agroecología*, (7), 53- 62.

Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. (Tesis de Grado). Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf> [Fecha de consulta 11-12-2020]

Padrón-Rodríguez, L.; Arias-Mota, R. M.; Medel-Ortíz, R.; & la Cruz-Elizondo, D. (2020). Interacción de hongos *micorrízicos arbusculares* y una cepa fosfato solubilizadora en *Canavalia ensiformis* (Fabaceae). *Botanical Sciences*, 98(2), 278-287.

Roca, A. F. (2016) *Elementos del suelo esenciales para las plantas. Publicado en: Departamento de Producción Animal Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo*. <http://>: Elementos del suelo esenciales para las plantas.

Renté. O.; Nápoles M.; Reyes, P.; & Vargas, B. (2018). Efecto de *Canavalia ensiformis* (L.) en propiedades físicas de un suelo Fluvisol Diferenciado en Santiago de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 59-64.

Somasegaran, P.; & Hoben, H. J. (1994). *Handbook for Rhizobia*. Springer-Verlag.

Salamanca AWF.; Bonilla CCR.; & Sanchez MS. (2006). Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ústico en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronomica*, 53(3)

Sakala WD.; Cadisch G.; & Giller KE. (2000). Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil biology and biochemistry*, 32(5), 679-688.

Seneviratne G. (2000). Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis.. April 2000, (31), 60-64.

Salamanca, W.F.; Bonilla, CR.; & Sánchez, M.S. (2004). “Evaluación de seis abonos verdes en un vertisol ustico en condiciones del Valle del Cauca”, *Acta Agronómica*, 53(3/4).

Smyth J.; Ayarza MA.; Brizuela L.; & Orozco P. P. (2004). *Testing diagnosis of the NuMaSS expert system for N and P applications in corn-based systems (eds) Integrated soil fertility management in the tropics*. TSBF annual report CIAT

Sancllemente 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.

Sánchez C.; Ramírez M.; Rivera B.; Garcés R.; Montiel V.; & Corredor G. (2008). *Abonos verdes alternativa para mejorar la capacidad productiva de los suelos arroceros de la Mojana. Memorias del encuentro Nacional de labranza de conservación CORPOI-CA, Villavicencio.*

Sánchez de Prager M.; Posada R.; Velásquez D.; & Narvaez M. (2010). *Metodologías básicas para el trabajo con Micorriza arbuscular y hongos formadores de micorriza arbuscular.* Universidad Nacional de Colombia.

StatPoint Technologies (2010) Statgraphics Centurion [en línea]. (ser. Centurion) *Statgraphics Technologies, Inc. The Plains, Virginia, USA, <http://www.statgraphics.com/download-statgraphics-centurion-xvi>.*

Sosa-Rodrigues, B. A.; Sánchez-de-Prager M.; García-Vivas Y. S.; Espinoza-Guardiola, M. D.; Rodríguez J. A.; Sosa-Rodríguez G. M.; Sosa-Rodríguez 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>.

Tang, M. (1996). Efecto de la inoculación natural en ocho leguminosas. *Pastos y Forrajes*. 2, 131.

Teaslade, J. R. (2007). *Principios y prácticas para el uso de cultivos de cobertura en el manejo de sistema de malezas.* <http://D/MALEZAS/Libro%20MALEZAS%20FAO%202004/y5031s0d-htm%23bm13>.

Tivelli, S.W.; Purquerio, L.; & Kano, C. (2010). Adubação verde e plantio direto em hortaliças”, *Pesquisa & Tecnologia*, 7(1), 1–7.

Tórrez Lira E. L.; & Tórrez Gutiérrez, J. R. (2019). Producción de biomasa con tres tipos de manejo de *Canavalia ensiformis* establecida en área de frutales, bajo el principio de

conservación, UCATSE, 2018-2019 (Doctoral dissertation, Universidad Católica del Trópico Seco).

Urquiaga, S. (2001). Potencial de la fijación biológica del nitrógeno en la productividad de sistemas agrícolas de América Latina: Conferencia. En: Boletín de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. 2001, 4(5).

Viera, J.; Diaz.; Yris.; Ramis.; Catalina.; & Horesok J. (1989). *Comparación de cuatro fechas de cosecha en seis siembras de Canavalia Ensiformis*. IPA. Informe anual'87. 41