

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Departamento de Agronomía



Efecto de la fertilización alternativa en el cultivo de sorgo
(*Sorghum bicolor* L. Moench) sobre un suelo Pardo
mullido carbonatado

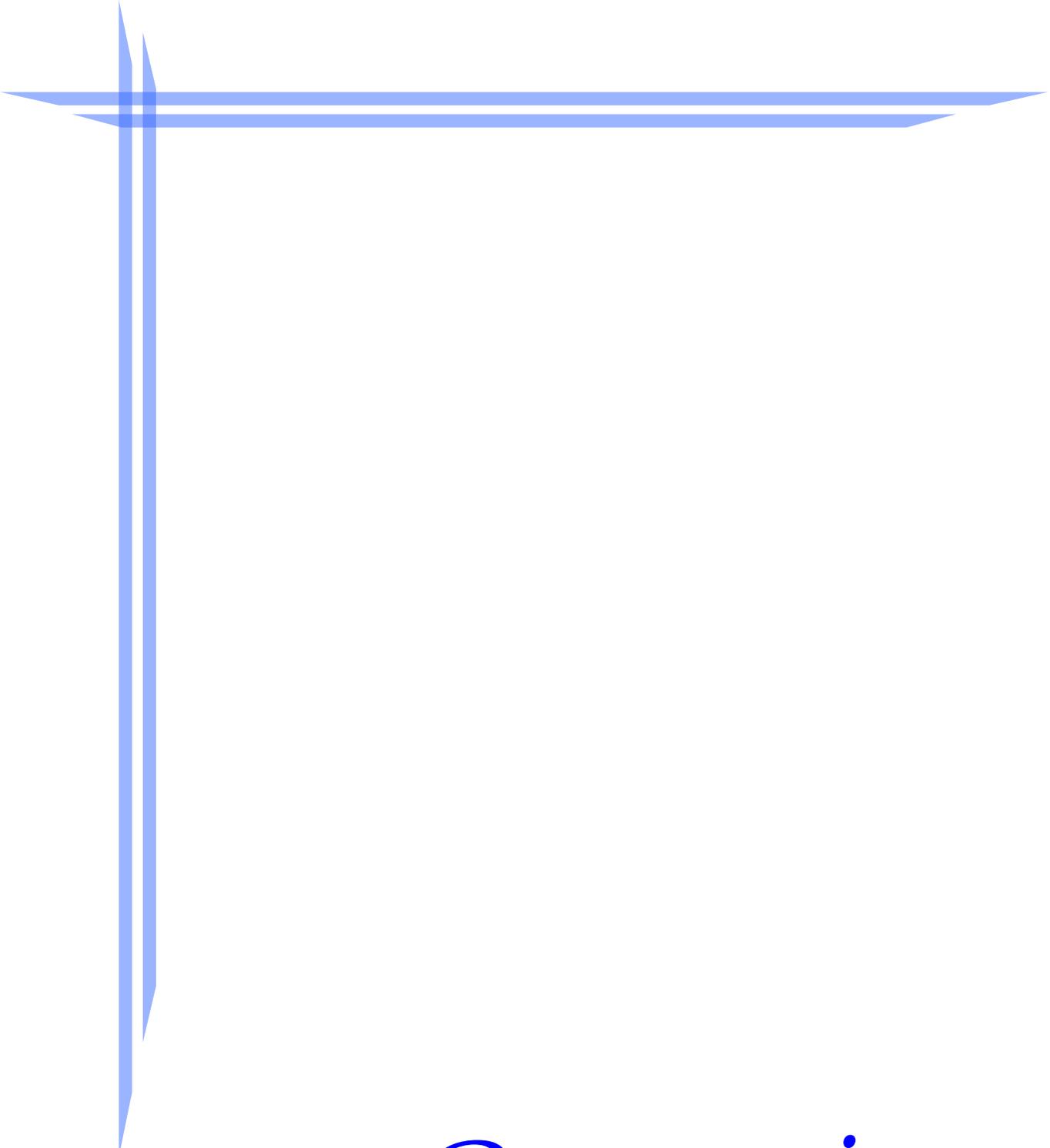
Autor: Alberto Campos Rodríguez

Tutores: Dr.C Pedro I. Cairo Cairo

MSc. Yamisey Yera Yera

Consultante: MSc. Alianny Rodríguez Urrutia

Santa Clara, 2014



Pensamiento

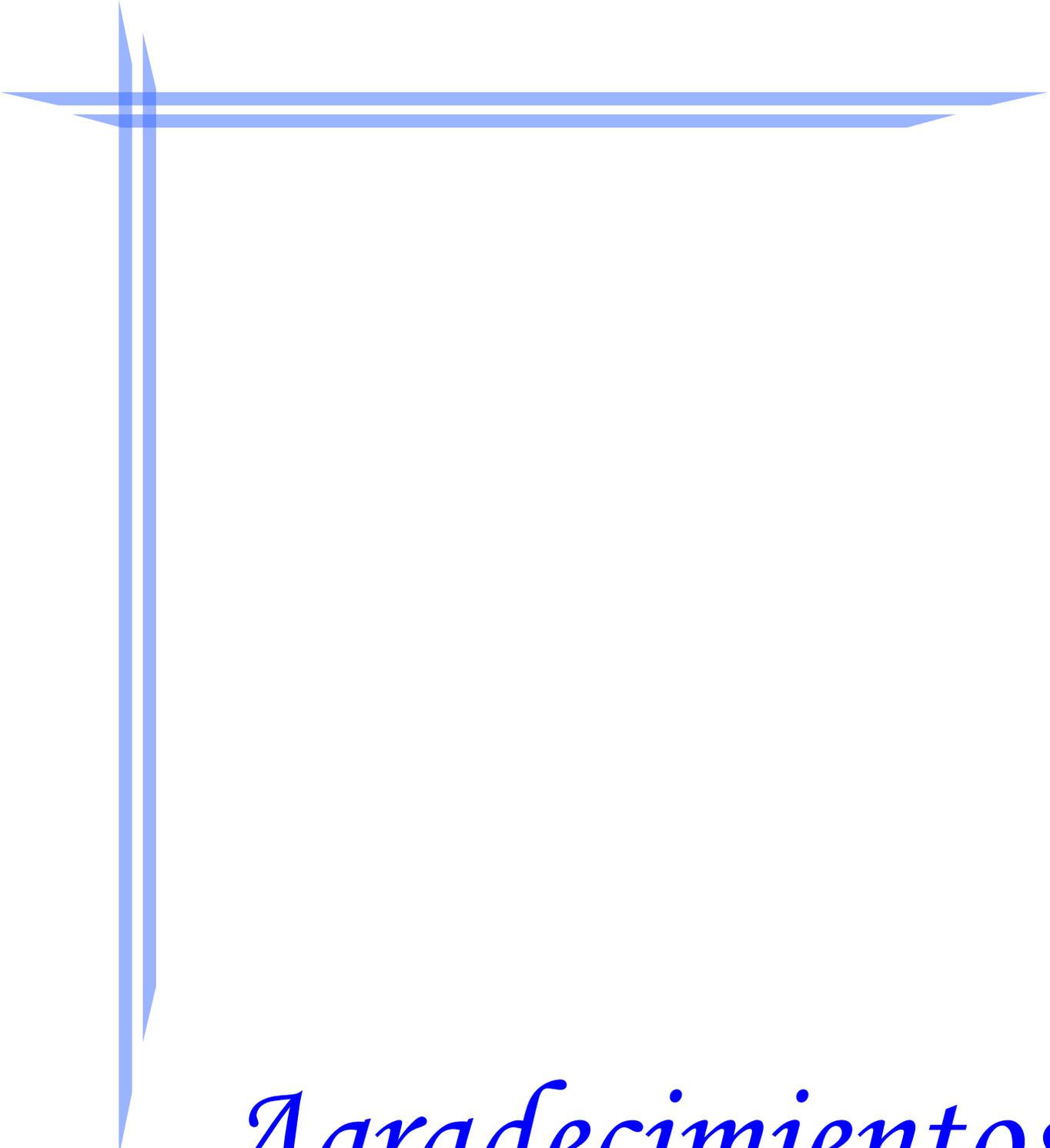
“Ser bueno es el único modo de ser dichoso. Ser culto es el único modo de ser libre. Pero en lo común de la naturaleza humana, se necesita ser prospero para ser bueno. Y el único camino a la prosperidad constante y fácil es el de conocer, cultivar y aprovechar los elementos inagotables e infalibles de la naturaleza. “

José Martí.



Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia y en especial a mi papa.



Agradecimientos

Agradecimientos

A mis padres, por su comprensión y apoyarme en todo momento.

A mis tutores Dr.C. Pedro I. Cairo Cairo, MSc. Yamisey Yera Yera y MSc. Alianny Rodríguez Urrutia por su ayuda incondicional para la realización de este trabajo.

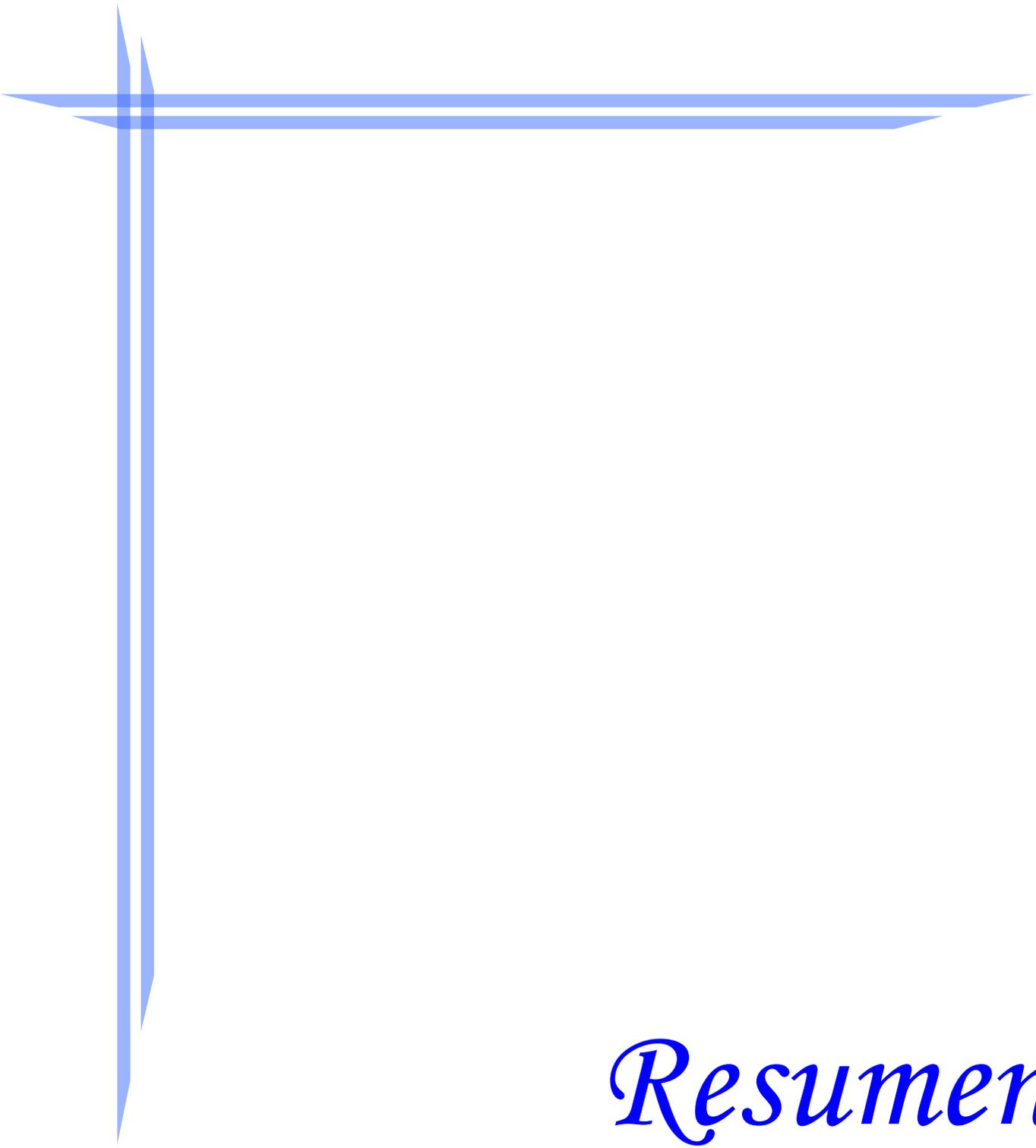
A los técnicos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

A todos los profesores que contribuyeron con mi formación profesional.

A la Revolución cubana, por brindarme la posibilidad de formarme como profesional.

Al resto de las personas que de una forma u otra me apoyaron en los estudios y contribuyeron a la realización de este trabajo.

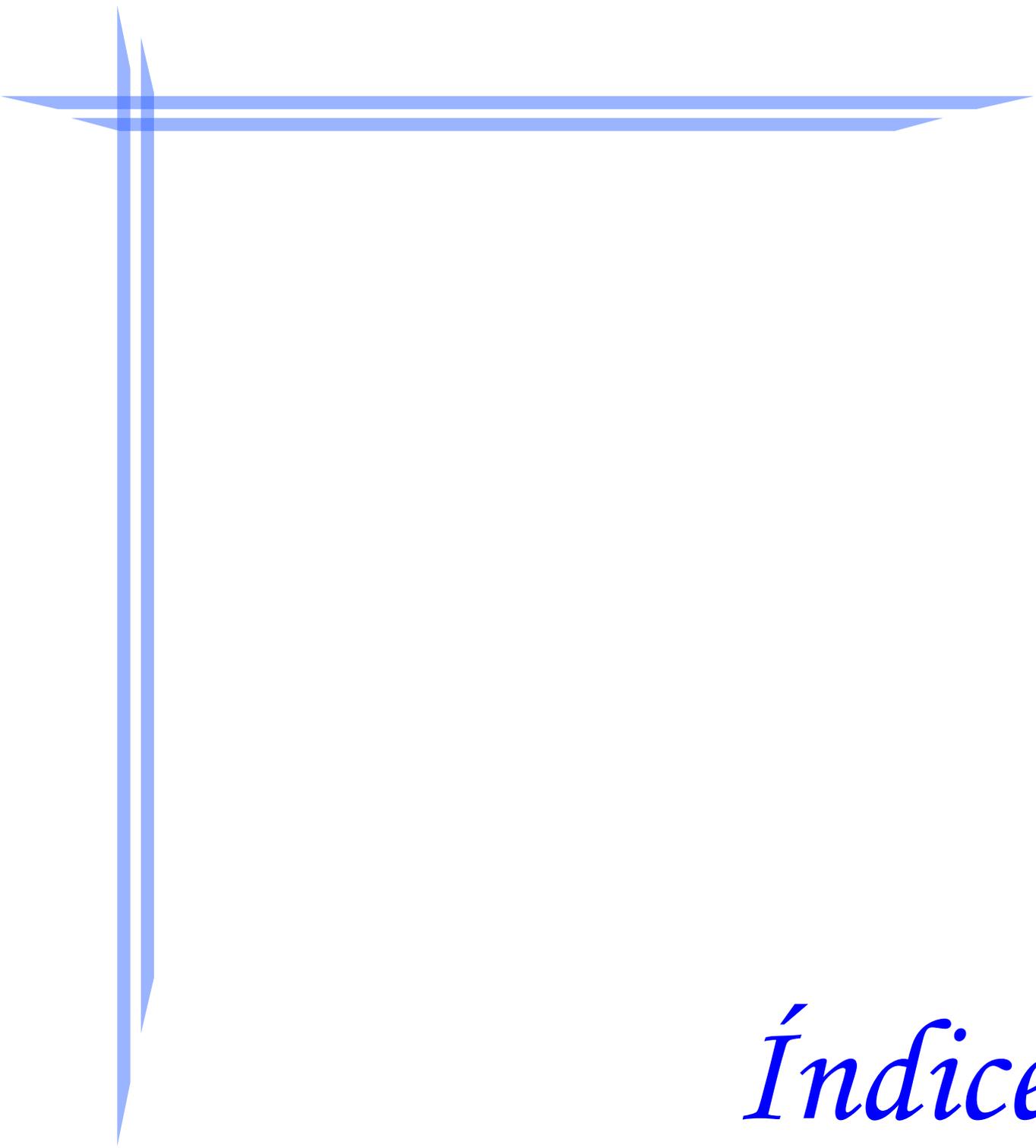
A todos, muchas gracias.



Resumen

Resumen

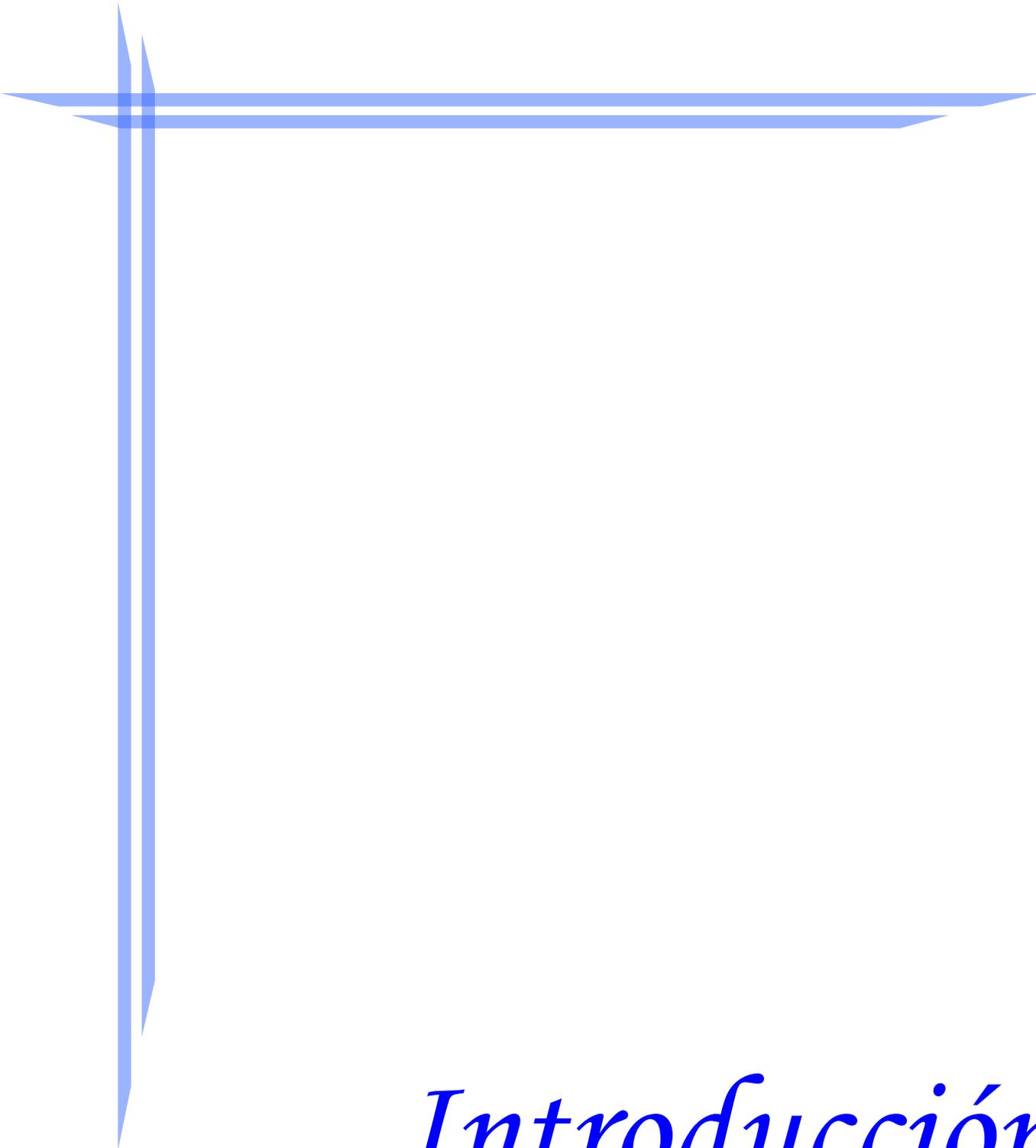
La conservación del medio ambiente es uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad en la actualidad. La contaminación ambiental, desertificación, pérdida de biodiversidad y los cambios climáticos permanecen como evidencias de que el hombre no ha sido conocedor de su propia naturaleza y se requiere de cambios a corto, mediano y largo plazo. Con el objetivo de determinar el efecto de la fertilización alternativa en el cultivo del sorgo sobre un suelo Pardo mullido carbonatado, se evaluaron variantes de fertilización en condiciones semicontroladas. Se comparó el efecto de tres cepas bacterianas, humus de lombriz, estiércol vacuno descompuesto y urea en los parámetros morfofisiológicos de la planta indicadora y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Al combinar las tres cepas bacterianas se obtienen los mejores resultados en los parámetros morfofisiológicos evaluados en la planta indicadora. Las propiedades físicas mejoran sus valores en relación al testigo cuando se emplea la cepa 24 y la combinación de las tres (4+6+24), con cambios de categoría en todos los casos. Con la aplicación de la cepa 6 se obtienen los mejores resultados en las propiedades químicas del suelo, excepto en la materia orgánica. En los tratamientos bacterianos evaluados se constató un control sobre los hongos del suelo, y los mejores resultados se observaron con la cepa 4 y la combinación de las tres.



Índice

<i>Índice</i>	<i>Pág.</i>
<i>1</i> <i>Introducción</i>	<i>1</i>
<i>2.</i> <i>Revisión bibliográfica</i>	<i>4</i>
<i>2.1</i> <i>El Sorgo</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1</i> <i>Origen, distribución mundial y en Cuba</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2</i> <i>Variedades y usos</i>	<i>5</i>
<i>2.1.3</i> <i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	<i>5</i>
<i>2.2</i> <i>El suelo y su degradación</i>	<i>7</i>
<i>2.3</i> <i>La materia orgánica</i>	<i>8</i>
<i>2.4</i> <i>Materiales orgánicos, uso y aplicación</i>	<i>9</i>
<i>2.4.1</i> <i>Humus de lombriz</i>	<i>9</i>
<i>2.4.2</i> <i>Estiércol vacuno</i>	<i>10</i>
<i>2.5</i> <i>Influencia de los materiales orgánicos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo</i>	<i>11</i>
<i>2.6</i> <i>Influencia de los materiales orgánicos sobre la microflora del suelo</i>	<i>11</i>
<i>2.6.1</i> <i>Los actinomicetos</i>	<i>12</i>
<i>2.6.2</i> <i>Los Hongos</i>	<i>12</i>
<i>2.6.3</i> <i>Las bacterias</i>	<i>13</i>
<i>2.6.3.1</i> <i>Bacterias rizosféricas</i>	<i>13</i>
<i>2.6.3.2</i> <i>Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal</i>	<i>14</i>
<i>2.6.3.3</i> <i>Bacterias endófitas promotoras del crecimiento vegetal</i>	<i>15</i>
<i>3</i> <i>Materiales y Métodos</i>	<i>17</i>
<i>3.1</i> <i>Ubicación y descripción del área de estudio</i>	<i>17</i>
<i>3.2</i> <i>Descripción del experimento en condiciones semicontroladas</i>	<i>17</i>
<i>3.3</i> <i>Análisis físicos y químicos del suelo</i>	<i>19</i>
<i>3.4</i> <i>Evaluación de los indicadores morfofisiológicos de la planta indicadora (sorgo granífero)</i>	<i>20</i>
<i>3.5</i> <i>Análisis Microbiológico</i>	<i>20</i>
<i>3.6</i> <i>Procedimiento estadístico</i>	<i>21</i>

4	Resultados y discusión	22
4.1	Influencia de los tratamientos en los parámetros morfofisiológicos de la planta	21
4.2	Efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo	23
4.3	Efecto de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo	24
4.4	Análisis de correlaciones en el experimento en condiciones semicontroladas	25
4.4.1	Relaciones entre los parámetros de crecimiento de la planta	26
4.4.2	Relaciones entre las propiedades del suelo	27
4.4.3	Relaciones entre las propiedades del suelo y los parámetros morfofisiológicos	29
4.5	Efecto de las cepas bacterianas sobre las bacterias, hongos y actinomicetos presentes en el suelo	30
5	<i>Conclusiones</i>	33
6	<i>Recomendaciones</i>	34
7	<i>Bibliografía</i>	
8.	<i>Anexos</i>	



Introducción

1. Introducción

La conservación del medio ambiente es uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad en la actualidad a nivel mundial. La contaminación ambiental, desertificación, pérdida de biodiversidad y los cambios climáticos permanecen como evidencias de que el hombre no ha sido conocedor de su propia naturaleza y se requiere de cambios a corto, mediano y largo plazo (Altieri, 2009).

El compostaje, es una técnica practicada desde hace mucho tiempo por los agricultores, como una manera de estabilizar estiércoles y otros residuos orgánicos con la finalidad de utilizarlos como abonos, es un proceso aeróbico de transformación de los residuales sólidos orgánicos, que implica el paso por una etapa termófila y origina al final dióxido de carbono, agua y minerales, como productos de los procesos de degradación, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas, y dispuesta para su empleo en la agricultura (Quiñones, 2008).

En nuestros días nos enfrentamos a una situación donde el reto fundamental es producir alimentos de manera sostenible. Los fertilizantes orgánicos son productos naturales que incrementan la disponibilidad de nutrientes en el suelo y generan sustancias que estimulan el crecimiento vegetal, lo que se revierte en una agricultura más orgánica y sustentable, además repercute positivamente en el equilibrio de las poblaciones microbianas que habitan el mismo (Rodríguez *et al.*, 2007).

Considerando la importancia de la alimentación del ser humano y que los procesos naturales constituyen alternativas ecológicas y económicas para la sustitución parcial o total de fertilizantes químicos, desde hace unos años se trabaja en función de utilizar los microorganismos con el objetivo de elevar las producciones de los cultivos agrícolas, y a la vez, contrarrestar el impacto negativo sobre el medio ambiente (Badía *et al.*, 2011).

En busca de una agricultura sostenible, se ha comenzado a tener en cuenta la relación plantas-microorganismos y los eventos fisiológicos asociados a dicha interacción. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal fueron descritas por Kloepper *et al.*, (1989), como aquellas bacterias de vida libre encontradas en la rizosfera de las plantas, que demuestran ser organismos altamente eficientes para aumentar el crecimiento de

las mismas e incrementar sus defensas frente a otros microorganismos causantes de enfermedades.

Uno de los problemas más graves que enfrenta la agricultura cubana es el referente a la degradación de los suelos y no prestarle la debida atención a los procesos que la ocasionan, comprometen seriamente el futuro del país. Enfrentamos hoy un reto en las aspiraciones por lograr establecer un sistema agrícola sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población: el reto consiste en detener los procesos que degradan los suelos, (Instituto de Suelos, 2001; Vargas, 2008).

El uso de inoculantes biológicos incorporados como tratamientos de semilla despierta un creciente interés en estudios de investigación, evaluaciones extensivas y usos comerciales en diferentes cultivos. Los efectos favorables sobre las plantas cultivadas son muy diversos, por ejemplo: el estímulo o promoción de crecimiento propiamente dicho; efectos de biocontrol y tolerancia mejorada a patógenos; fijación no simbiótica de nitrógeno, solubilización de nutrientes e incremento en la eficiencia de uso de los fertilizantes; estructuración del suelo y estabilización de agregados y otros efectos secundarios. Las mejoras derivadas de una mayor eficiencia de uso de los nutrientes y otros recursos a partir de estos tratamientos biológicos serían de relevancia (Ferraris, 2010).

El sorgo tropical (*Sorghum bicolor* L. Moench) presenta buena adaptabilidad y rendimientos aceptables, por lo que se le ha denominado «el cereal del siglo XXI». A nivel mundial, a principio de los sesenta una gran producción de sorgo se empleaba directamente en la alimentación humana; mientras que en la actualidad la utilización de sorgo para el consumo animal se ha duplicado. En Cuba es muy utilizado en la Agricultura Urbana para evitar la incidencia de plagas, según Rodríguez *et al.*, (2006).

Problema:

En la actualidad el sorgo ha alcanzado importancia por su valor en la alimentación animal y humana, lo cual es favorecido por ser un cultivo poco exigente en cuanto a las condiciones del suelo. Debido a los pocos estudios realizados sobre alternativas de fertilización no existen actualmente recomendaciones prácticas para la inclusión en la

tecnología integral del cultivo en Cuba, lo cual constituye una limitante para alcanzar rendimientos estables y sostenibles.

Hipótesis:

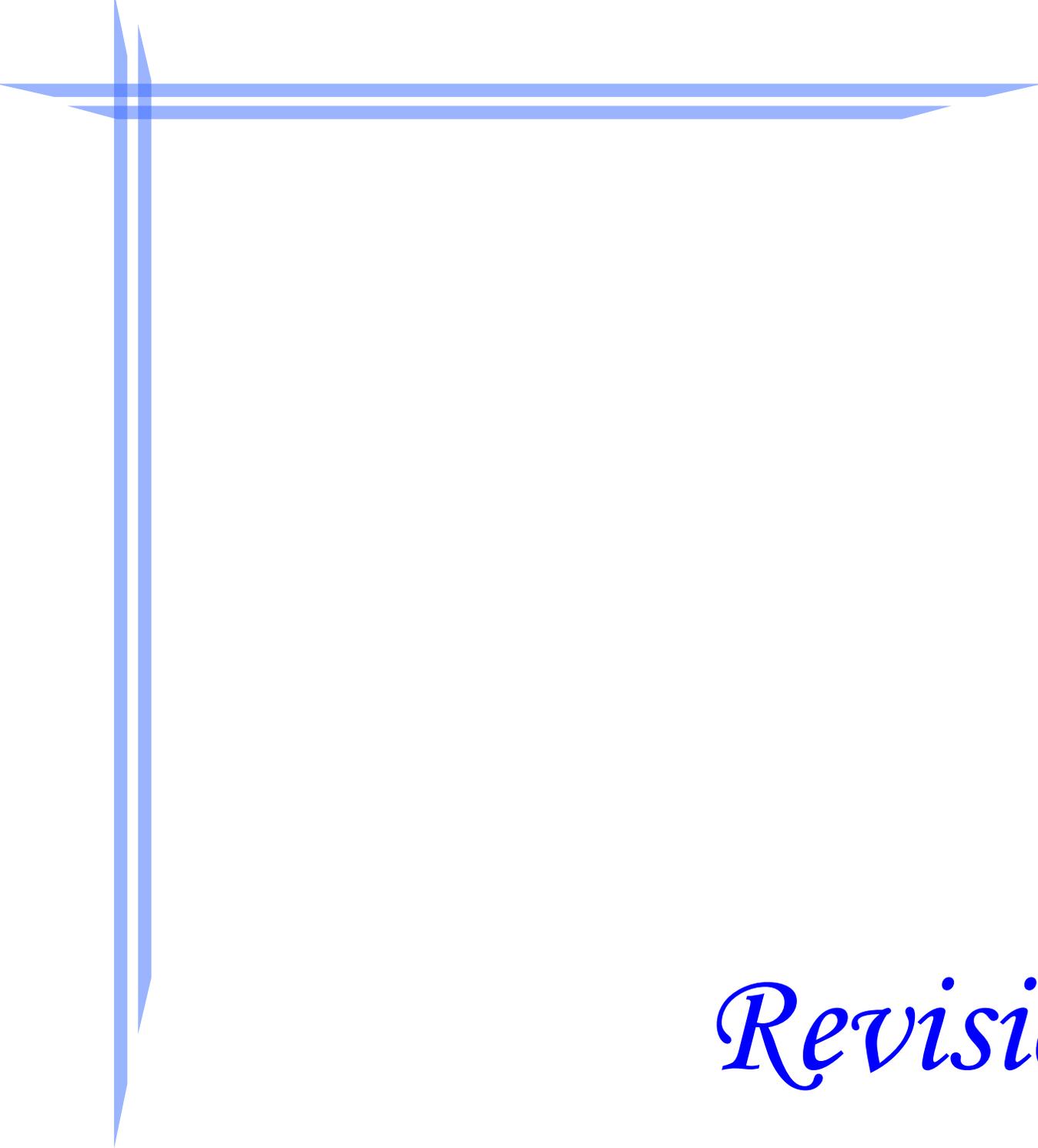
El empleo de la fertilización alternativa puede mejorar la calidad del suelo y los rendimientos del cultivo del sorgo.

Objetivo general:

Determinar el efecto de la fertilización alternativa en el cultivo de sorgo sobre un suelo Pardo mullido carbonatado en condiciones semicontroladas.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de la fertilización alternativa sobre los parámetros morfológicos del sorgo.
2. Determinar el efecto de la fertilización alternativa en el cultivo del sorgo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
3. Evaluar el efecto de las cepas bacterianas sobre las poblaciones de microorganismos del suelo.



*Revisión
Bibliográfica*

2. Revisión bibliográfica

2.1 El Sorgo

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena (Pacheco, 1998). Los principales lugares de producción de sorgo se encuentran en las regiones áridas y semiáridas de los trópicos y subtropicos (Hidalgo, 1997; Doggett, 1998), citado por Saucedo *et al.*, (2008).

El sorgo se conoce con varios nombres: mijo grande y maíz de guinea en África occidental, kafir en África austral, duro en el Sudán, mtama en África oriental, iowar en la India y kaoliang en China (Duke, 1983), citado por Saucedo *et al.*, (2008).

2.1.1 Origen, distribución mundial y en Cuba

El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la planta por primera vez en América. Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África. (Wikipedia., 2007).

En África una parte importante se destina al consumo humano, mientras que en América y Oceanía la mayor parte del sorgo producido se emplea para el consumo animal; por ejemplo, en la alimentación del ganado (Ostrowski, 1998; Salerno, 1998; Oramas *et al.*, 2002), en aves de corral (Caballero, 1998a; Oramas *et al.*, 1998a; Gilbert, 1999), además es muy utilizado en otros países como materia prima en la almidonería y la industria alcoholera (Vitale *et al.*, 1998). En África se han realizado estudios sobre la respuesta a la aplicación de N y P en sorgos sensibles al fotoperíodo (Bationo y Vlek, 1998; Pandey *et al.*, 2001)

En Cuba el sorgo se ha consumido como alimento humano y animal durante los últimos 100 años, en zonas limitadas del país tales como Bejucal, Alquizar, Quivicán y otras (Oramas *et al.*, 2003).

En Cuba a pesar de que no existe tradición de cultivo de este cereal se han dado pasos importantes en la extensión del mismo en el país ya que constituye una alternativa viable y factible (Saucedo *et al.*, 2005). La necesidad de reducir importaciones, debido a los altos precios del trigo y otros cereales a nivel internacional, ocasionado en buena medida por las dificultades para su adquisición a su vez motivadas por el férreo bloqueo impuesto a Cuba por EE.UU., recomiendan el sorgo para la producción de granos destinados a la elaboración de productos para la alimentación humana. Por otro lado, el desarrollo que es necesario alcanzar

en la cría de aves y cerdos para garantizar los planes alimentarios del país está motivando a los productores a la siembra de sorgo y otros granos para producir alimento para los animales de cría (Pons, 2005).

2.1.2 Variedades y usos

Se han estudiado muchas variedades de sorgo, tales como: CIAP 2, CIAP 6 y CIAP 132 – R. Saucedo (2008) destaca la variedad UDG-110, la cual muestra un alto grado de tolerancia a la sequía y evasividad al calor; otras variedades registradas presentan cualidades importantes.

Las producciones porcinas se desarrollan con sistemas de explotación que utilizan tecnologías muy avanzadas, los cuales incluyen altos volúmenes de cereales y fuentes proteínicas, que por lo general no se producen en cantidades suficientes y rentables en el país. Ello genera una fuerte dependencia de las materias primas extranjeras (Argenti y Espinosa, 2000).

En ese sentido, Acuero *et al.*, (1983) y Saucedo *et al.*, (2008) plantearon que la sustitución parcial o total del maíz por sorgo puede incrementar las ganancias de peso vivo; mientras que Neumann *et al.*, (2002) señalaron que cuando se utiliza *S. bicolor* en ensilajes mixtos, esto representa un menor costo de producción y podría ser una alternativa técnicamente recomendable para los sistemas de producción que presentan deficiencias de áreas de cultivo.

El sorgo no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, confituras, mezcla en café y cárnicos, entre otras (Saucedo, 2008); además las panículas se emplean para la confección de escobas o se queman para obtener cenizas ricas en potasio.

2.1.3 Requerimientos edafoclimáticos

Sus características de adaptabilidad en las condiciones edafoclimáticas de Cuba fueron estudiadas por Funes y Yepes (1978) y descritas por Machado y Menéndez (1979), quienes reportaron su buena plasticidad. Se plantea que este cultivo ofrece perspectivas favorables en relación con otros granos (Baffes, 1998), debido a que tiene menos requerimientos agrotécnicos, en general, y presenta una mayor plasticidad respecto a la época de siembra y el tipo de suelo (FAO-ICRISAT, 1997; ICRISAT, 1998; Niemeijer, 1998; Caballero, 1998b; Sánchez, 1998; Oramas *et al.*, 1998b).

Es una especie fotoperiódica. En Nicaragua García *et al.*, (2003) reportaron respuestas acerca de las variedades fotoinsensibles, y en El Salvador asocian el sorgo al maíz (DGEA, 2004); mientras que Arias *et al.*, (2004) plantean que si se asocia con soya representaría una opción ventajosa en Cuba, no sólo para mejorar la eficiencia de utilización de la tierra, sino para promover una mayor calidad del forraje cosechado, sin afectar la producción del grano.

Correa (2001) planteó que la temperatura está relacionada con la época de siembra, pues las altas temperaturas aumentan las pérdidas, por coincidir con su período reproductivo. Crece bien en suelos cuyo pH oscile entre 5,5 y 8,5; sin embargo, el pH ideal está entre 5,5 y 6,5. Soporta la sal y se plantea que las variedades azucaradas exigen la presencia de carbonato cálcico en el suelo, lo que aumenta el contenido en sacarosa de los tallos y las hojas. Prefiere suelos sanos, profundos, no demasiado pesados. No debe utilizarse como cultivo antecedente de los cereales de otoño. La temperatura de 38°C merma los rendimientos por el aborto de sus flores; mientras que la de 27°C resulta ideal para el período reproductivo. Asimismo, 21°C representa la mínima para un buen crecimiento, y 18°C significa la óptima del suelo para su germinación.

El sorgo se considera el cultivo más eficiente en el uso del agua (Graveros, 2003). Es tolerante a la sequía, capaz de sufrir escasez de agua durante un período de tiempo bastante largo y reemprender su crecimiento más adelante cuando cesa esta.

Por otra parte, necesita menos cantidad de agua que otros granos para formar un kilogramo de materia seca, debido a mecanismos de escape o de tolerancia a la sequía (especialmente en la etapa de diferenciación floral) sin perjudicar el rendimiento (Castro *et al.*, 2000). Se plantea que el período crítico de necesidad de agua comprende desde el momento que aparece la panícula en las hojas del vértice de las plantas, hasta el final del estado leñoso del grano.

La enzima carboxilasa fosfoenilpiruvato es la responsable de que esta planta tenga habilidad para mantener la eficiencia fotosintética bajo estrés (Maranville y Madhavan, 2002). También se plantea que cuando el tejido experimenta estrés hídrico, en este se produce un cierre estomático para restringir la pérdida de agua, o debe ajustar el tamaño de la célula o el potencial osmótico, de manera tal que el potencial hídrico de la célula baje para mantener la fluidez del agua líquida (Krieg, 2000).

La preparación adecuada del terreno es esencial para obtener una buena cosecha (Saucedo, 2008; Pérez y Hernández, 2009). Se recomienda arar a una profundidad de 10 a 20 cm de acuerdo con el tipo de suelo, entre 22 y 30 días antes de la siembra, ya que de esa forma se controlan los insectos y las malezas.

Se debe establecer el cultivo en la época de siembra recomendada, para evitar los excesos o deficiencias de agua durante el crecimiento y desarrollo de la planta. Correa (2001) plantea que la época está relacionada con la temperatura del suelo: a menor temperatura, aumentan las pérdidas. La siembra se realiza a chorrillo, con sembradora mecánica o manual, colocando la semilla entre 1 y 3 cm de profundidad.

2.2 El suelo y su degradación

El suelo es consecuencia de la naturaleza, constituye el hábitat de las plantas, que a la vez favorecen su desarrollo y además es el medio de mayor importancia, en el desarrollo de los cultivos. Constituyen el elemento indispensable donde se aplicaran los fertilizantes ecológicos, ya que ellos son el sostén y el sustento de los cultivos agrícolas, las propiedades de los suelos determinan, en última instancia, qué sistema de cultivos se pueda desarrollar de manera sostenible en ellos y qué demanda de nutrientes que requieren las plantas para proporcionar rendimientos adecuados (Muñiz, 2001).

El suelo puede ser considerado un recurso no renovable, pues su formación es un proceso muy lento. Proporciona un medio para sostener las raíces de las plantas, pero es también un ecosistema complejo sobre el que nuestros conocimientos son aún muy limitados. Un suelo agrícola productivo está lleno de vida, con millones de organismos que interactúan química y físicamente con su entorno. Estos procesos regulan la liberación de nutrientes, de minerales y materia orgánica para alimentar a las plantas, así como la capacidad de adaptación de los cultivos a los riesgos inherentes a cualquier sistema agrícola, que son generalmente más simples e inestables que los sistemas naturales. Un suelo vivo tiene una mejor estructura y puede absorber y retener más agua y aire que un suelo estéril. Por todo ello, una producción ecológica responsable comienza por el mejoramiento del suelo (Ugáz, 2007).

En la actualidad escasea la materia prima para la producción de fertilizantes y los precios se incrementan, por lo que obtener una alta eficiencia se hace cada vez más difícil, especialmente en las condiciones naturales del trópico, en que encontramos abundantes lluvias, y características de los suelos donde aumentan las pérdidas de fertilizantes por diferentes vías, causando pobre utilización de los mismos (Cabrera y Bouzza, 1999; Colás, 2007).

En el desarrollo de la agricultura es necesario lograr estabilidad en el ciclo biológico «clima-suelo-planta» para obtener los máximos beneficios de los recursos de que dispone y proteger y conservar el medio ambiente, Cairo *et al.*, (1996). Este desarrollo anteriormente dicho y su correspondiente exportación de productos, significó un desequilibrio o desbalance en el sistema

«suelo-planta» desfavorable para el suelo lo que contribuyó a su degradación en sus condiciones de vida y potencial productivo; entonces existió la necesidad de restituir a los suelos, al menos en parte, lo que se extrae de ellos con la producción agrícola, como complemento y para satisfacer esas necesidades surgieron los abonos orgánicos que por la forma de obtención y por su composición química resultó el material ideal para mantener las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos y conservar su capacidad productiva (Paneque y Calaña, 2004).

Desde tiempos antiguos, el concepto de la fertilidad del suelo ha sido entendido por productores y científicos como la capacidad del suelo para producir cultivos en las cantidades y calidades deseadas. Aunque la fertilidad del suelo ha sido entendida en ocasiones como la disponibilidad de nutrientes en el suelo, hoy se entiende también como la estructura, la textura, y el contenido de materia orgánica en el suelo. En las décadas recientes, ha surgido el concepto de la calidad de suelo, que amplía la idea de fertilidad por incluir dentro de su concepción a todos los servicios ambientales que brinda el suelo a la calidad de vida humana, incluso agua limpia, alimentos sanos, y hasta recreación. Generalmente, el concepto de calidad de suelo ha sido vinculado con la agricultura sostenible (Yera, 2012).

2.3 La materia orgánica

El uso de materia orgánica se ha convertido en la base para el desarrollo de agricultura orgánica. Sin embargo, es un error considerar que agricultura orgánica es simplemente “no usar productos sintéticos”. La agricultura orgánica debe considerar dos aspectos esenciales: (a) la diversidad estructural y de procesos, y (b) el manejo ecológico del suelo y nutrición (Brenes, 2003).

La materia orgánica es un componente muy estudiado pero todavía no completamente entendido del suelo. Está claro que la materia orgánica es la fuente principal de carbono al agroecosistema, pero también juega un papel importante en el ciclo de varios micronutrientes vitales a las plantas, la conservación del suelo, la fuente nutritiva de los microorganismos del suelo, y el reciclaje de las materias del agroecosistema. La materia orgánica es el subsistema del suelo más sensible a cambios de manejo del agroecosistema, se divide en sustancias húmicas y no húmicas, con estas últimas más disponibles como fuente nutritiva a las plantas mientras las sustancias húmicas contribuyen a la génesis y estabilidad de la estructura del suelo (Águila, 2008).

Según Pineda, (2002) citado por Oramas, (2010) argumenta que la materia orgánica no solo resulta un factor de gran importancia en el suministro de nutrientes sino también en la formación de la estructura del suelo así como la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

2.4 Materiales orgánicos, uso y aplicación

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos. No podemos olvidarnos la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental. Son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos en verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércol); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos, (basuras de vivienda, excretas); compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados. (Raaa, 2005).

Esta clase de abonos no sólo aporta al suelo materiales nutritivos, sino que además influye favorablemente en la estructura del suelo. Así mismo, aportan nutrientes y modifican la población de microorganismos en general, de esta manera se asegura la formación de agregados que permiten una mayor retentividad de agua, intercambio de gases y nutrientes, a nivel de las raíces de las plantas (Cairo, 2003).

La sustitución de fertilizantes minerales por abonos orgánicos permite aumentos productivos sostenibles económicamente, reducen la contaminación del suelo y del manto freático y favorecen las condiciones para el desarrollo de la biota del suelo y sus propiedades hidrofísicas y químicas. (Pérez *et al.*, 2007)

2.4.1 Humus de lombriz

El humus de lombriz es el producto que resulta de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufren los residuales sólidos orgánicos durante el proceso de ingestión por parte de las lombrices, así como de la flora microbiana asociada (Dávila, 2007).

En la actualidad se conoce que el humus de lombriz no es solo un excelente fertilizante orgánico, sino que además posee una serie de propiedades que permite su uso como sustrato para la germinación de semillas, soporte para inoculantes microbianos, material con capacidad para suprimir fitopatógenos, bioregenerador de suelos degradados e incluso biorecuperador de suelos contaminados (Angarita y Romero,2005).

El humus de lombriz es un material rico en calcio, nitrógeno, potasio, fósforo y magnesio. Además contiene buenas cantidades de axinas y hormonas vegetales que actúan sobre la germinación y el crecimiento de las plantas.

2.4.2 Estiércol vacuno

La práctica de aplicación de abonos orgánicos es tan antigua como la explotación de la tierra para cultivos (Altieri, 1996), se caracterizó por el empleo del estiércol fundamentalmente bovino por su mayor volumen. No obstante, también se ha empleado el estiércol porcino, la gallinaza, el ovino, entre otros. Dentro de los estiércoles, el estiércol vacuno es el que en su composición presenta los más ricos nutrientes, se compone de la orina y las heces de los animales (solo en el caso de las aves las deyecciones vienen unidas), resultando la conservación de la orina muy importante por su elevada concentración en nitrógeno y potasio, por ello es conveniente emplear en el establo, una cama absorbente. Los niveles de aplicación de estiércol oscilan entre 10 y 80 t/ha en dependencia de las condiciones edafoclimáticas y del cultivo, MINAG (1984) citado por (Cairo, 2003) recomienda aplicaciones de 25 y 45 t/ha. Arteaga (1988) demostró que el rendimiento óptimo económico de estiércol bovino en pastos en suelos Pardos grisáceos se obtenía con 25 t/ha. En las zonas tabacaleras de Pinar del Río tradicionalmente se aplican 45 t/ha de estiércol, sin embargo (Bouza *et al.*, 1984) citado por (Cairo, 2003), señalaron que una reducción de 30 t/ha recomendado la dosis de 15 t/ha combinada con el laboreo mínimo. (Arzola y Cairo, 1985) concluyeron que el estiércol bovino ha resultado un excelente mejorador de las propiedades físicas y químicas del suelo, y recomendaron su aplicación en suelos ácidos u otros no propensos a originar daños a las plantas por acumulación de sodio. Los estiércoles son utilizados en la elaboración de Compost unidos a otros residuos orgánicos (biotierras), las cuales pueden constituir un biofertilizante de alta eficacia (Mayea, 1991).

2.5 Influencia de los materiales orgánicos sobre las propiedades físicas y químicas del suelo

La agricultura sostenible y el encarecimiento de los fertilizantes minerales, han propiciado un gran empleo de los abonos orgánicos en la agricultura, lo cual se debe a sus grandes posibilidades como mejoradores de las propiedades fisicoquímicas del suelo, así como portadores de macro y micro elementos esenciales. (Pérez, 1997).

El mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, constituyen un elemento muy importante en defensa de una agricultura sostenible (Primavesi, 1990; Mann y Tollbert, 2000).

La sustitución de fertilizantes minerales por abonos orgánicos permite aumentos productivos sostenibles económicamente, reducen la contaminación del suelo y del manto freático y favorecen las condiciones para el desarrollo de la biota del suelo y sus propiedades hidrofísicas y químicas. (Pérez *et al.*, 2007)

Se ha reportado que los suelos tropicales bajo vegetación forestal muestran contenidos de carbono orgánico y nitrógeno total significativamente más altos que los suelos con vegetación tropical de sabana en una profundidad de 0 – 15cm; mientras que la relación carbono nitrógeno es más baja en los primeros que en los segundos (Cairo y Fundora, 2005).

2.6 Influencia de los materiales orgánicos sobre la microflora del suelo

Desde tiempos remotos los campesinos relacionan los estiércoles, las hojas podridas e incluso la “basura” de la casa con los abonos orgánicos, esto es correcto, pero subrayando que estos materiales biodegradables deben ser transformados por la acción de los microorganismos y del trabajo humano ya que tienen efecto sobre el suelo, pues mantienen la flora microbiana del suelo, mejoran las propiedades físicas e hídricas del mismo, posibilitan mayor cantidad de nutrientes, incrementan la calidad de las cosechas, elevan y estabilizan la fertilidad de los suelos, aumentan la composición nutricional de los productos agrícolas [ACTAF (2007) citado por Ribalta (2008)].

La parte orgánica de un suelo se presenta bajo dos formas: una forma bruta que contiene residuos vegetales o animales en descomposición y una forma humificada, o humus, que corresponde a los compuestos húmicos, cuerpos químicos complejos elaborados por las bacterias y hongos del suelo a partir de la descomposición de las células animales y vegetales [Lacoste y Salanon (1991) citado por Oramas (2010)]. Los suelos contienen una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños muy diferentes, como los virus, bacterias, hongos, algas, colémbolos, ácaros, lombrices, nemátodos, hormigas y, por supuesto, las raíces vivas de

las plantas superiores [Fassbender (1982) y Wild (1992)]. La importancia relativa de cada uno de ellos depende de las propiedades del suelo [Thompson y Troeh (1988)].

2.6.1 Los actinomicetos

Los actinomicetos son organismos procariotas filamentosos; sus hifas son cenocíticas, tienen el diámetro de las bacterias y de la arcilla gruesa y están con frecuencia ramificadas y entrelazadas, por lo cual son difíciles de contar (Thompson y Troeh, 1988). Nutricionalmente, se trata de un grupo muy adaptable, sus miembros son heterótrofos sin excepción y pueden utilizar una amplia gama de compuestos carbonados y nitrogenados, como polisacáridos, lípidos, hidrocarburos saturados, fenoles, proteínas y quitina. Son organismos típicamente aeróbicos, por lo que no suelen encontrarse en suelos encharcados, son más frecuentes en los suelos calientes que en los fríos y resultan muy poco tolerantes a la acidez (Wild, 1992).

Los actinomicetos son menos numerosos que las bacterias y uno de los factores favorables para su presencia es la abundancia de calcio, que proporciona una condición neutra o ligeramente alcalina (Thompson y Troeh, 1988). Otro factor importante a tener en cuenta es la humedad; aunque los actinomicetos necesitan humedad para su crecimiento, sus esporas pueden soportar prolongadas sequías durante más tiempo que otros microorganismos, hasta el punto que puedan llegar a dominar la población edáfica (Wild, 1992).

2.6.2 Los Hongos

Los hongos son componentes importantes de la microbiota del suelo, intervienen en procesos ecológicos tales como el reciclado de nutrientes y el mantenimiento de importantes relaciones simbióticas con plantas y bacterias (Jeewon y Hyde, 2007).

Los hongos pueden representar el 70% de la población microbiana y constituyen el segundo de los dos grandes grupos de microorganismos del suelo. Todos son eucariotas heterótrofos y se incluyen entre las especies que necesitan nitrógeno, ya sea en forma de sales minerales o de compuestos orgánicos nitrogenados, pues están desprovistos de capacidad fijadora. Las especies edáficas presentan gran diversidad en cuanto a exigencias en sustratos carbonados, variando desde los que pueden utilizar hidratos de carbono, alcoholes y ácidos orgánicos sencillos hasta los que son capaces de descomponer compuestos polimerizados, como la celulosa y la lignina. Este es el caso de los que son parásitos obligados de los vegetales superiores o de los que han desarrollado una simbiosis obligada con determinadas plantas, como las micorrizas. Los saprófitos comunes en el suelo pueden ser eficaces transformadores

de sustratos edáficos en tejidos microbianos. Algunos de ellos pueden asimilar entre el 30 y 50% del carbono presente en la materia orgánica que descomponen, lo que representa una tasa de conversión muy superior a la de las bacterias, que es del 5 al 20%. Esto significa que el crecimiento muy rápido de los hongos puede originar una elevada demanda del nitrógeno disponible en el suelo, aunque ésta puede quedar mitigada por su relación C/N, que es superior a la que presentan las bacterias. Algunos hongos pueden sintetizar compuestos polifenólicos, que se parecen a las formas encontradas en la fracción húmica del suelo, contribuyendo de esta manera a la formación de la materia orgánica evolucionada y estable. Generalmente toleran mejor las situaciones ácidas y el escaso suministro de calcio que otros microorganismos, y su presencia cuantitativa en los suelos ácidos es del mismo orden que en los neutros y suelen predominar en la población microbiana de los suelos forestales, porque los restantes microorganismos se hacen menos numerosos en condiciones ácidas. Además, los hongos disponen de diversos métodos para sobrevivir durante épocas desfavorables, como el calor y la sequía del suelo (producción de esporas en cuerpos fructíferos, clamidósporas, esclerotes, etc.). Por otro lado, la excesiva humedad suele ser desfavorable para ellos (Wild, 1992).

2.6.3 Las bacterias

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte de ellas presenta forma esférica cocos o de bastón bacilos y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materiales orgánicos [Thompson y Troeh, (1988)]. El pH puede tener importancia en la retención de las bacterias en el suelo, según lo observado experimentalmente por Bitton *et al.*, (1974). La mayor parte de bacterias y actinomicetos se desarrollan mejor a pH neutro y ligeramente alcalino; en cambio, los hongos se desarrollan a un pH más amplio (Fassbender, 1982). También existe la posibilidad que la materia orgánica por su carga negativa, adsorba y retenga a estos microorganismos de manera significativa (Goyal y Gerba, 1979).

2.6.3.1 Bacterias rizosféricas

Hiltner en 1904 observó por primera vez la acumulación de microorganismos en la zona radical y propuso el término “rizosfera”. Los exudados radicales, conformados por sustancias diversas crean alrededor de las raíces (rizosfera) un ambiente nutricional enriquecido que favorece el

crecimiento bacteriano. Smith (1976) y Martin y Kemp (1980) destacan la presencia de carbohidratos y aminoácidos en exudados radicales y señalan que la composición y cantidad de exudados varía con la especie de microorganismo presente y las condiciones abióticas, especialmente agua y temperatura. La relación que se establece entre las bacterias y las plantas puede ser favorable, perjudicial o neutra. Dentro de las relaciones favorables se encuentra la asociación con bacterias fijadoras de N; entre estas, especies de *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Gluconoacetobacter*, *Burkholderia*, *Paenibacillus*, entre otras (Estrada *et al.*, 2001). Las bacterias fijadoras de N pueden ser categorizadas dentro del grupo de las rizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR, por sus siglas en inglés), al ejercer un efecto benéfico sobre el crecimiento de las plantas (Okon y Vaderleyden, 1997). Por muchos años se consideró que el efecto benéfico de las bacterias fijadoras de nitrógeno sólo provenía de la utilización por las plantas del amonio excretado; así existen numerosas publicaciones que prueban tal efecto (Mirza *et al.*, 2001; Becker *et al.*, 2002); sin embargo, se ha encontrado que estas bacterias también producen fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas) que afectan favorablemente el desarrollo de las plantas, particularmente de la raíz (Persello-Cartieaux *et al.*, 2003). Más recientemente se ha publicado que las bacterias fijadoras de N incrementan la capacidad radical de absorción de nitrato, indirectamente como una consecuencia de la estimulación del desarrollo radical y directamente por estimulación del sistema transportador del compuesto (Mantelin y Touraine, 2004).

2.6.3.2 Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal

El grupo de bacterias conocido como PGPR, fue definido por Kloepper *et al.*, en 1989 como bacterias que colonizan la raíz y estimulan significativamente el crecimiento de las plantas. Los mecanismos mediante los cuales las PGPR promueven este crecimiento está aún en estudio, pero se conoce que comprende: la habilidad de producir o cambiar la concentración de fitohormonas como el Ácido Indol Acético (Mordukhova *et al.*, 1991), el ácido giberélico (Mahmoud *et al.*, 1984), citoquinas (Tien *et al.*, 1979), y el etileno (Glick, 1995); la fijación asimbiótica de N₂ (Boddey y Döbereiner, 1995); el antagonismo contra microorganismos fitopatógeno, la producción de sideróforos (Scher y Baker, 1982); la solubilización de fosfato mineral y de otros nutrientes (De Freitas *et al.*, 1997).

Según Kloepper *et al.*, (1989) las PGPR pueden ser: Bioprotectores (supresión de enfermedades de plantas), Biofertilizantes (aumentar la capacidad de adquisición de nutrientes) y Bioestimulantes (producción de fitohormonas).

Uno de los requerimientos más importantes para que una bacteria sea considerada como PGPR es el tiempo de permanencia en la rizosfera después de su inoculación. Una población introducida que declina rápidamente en el tiempo, tendrá una baja habilidad de competencia en la microbiota nativa. Otra característica, es la posibilidad de colonizar la superficie de las raíces que ejerce un efecto fisiológico directo sobre el crecimiento de las plantas. Además las PGPR utilizadas no deben provocar daño al suelo, a las plantas, a los animales o al hombre. (Bach *et al.*, 2008)

Dentro de este grupo de bacterias se encuentran los géneros: *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* y algunos Actinomicetos (Bashan y Levanony, 1990; Okon y Lavandera-González, 1994; Maier *et al.*, 2004).

2.6.3.3 Bacterias endófitas promotoras del crecimiento vegetal

Las poblaciones de bacterias endófitas pueden ser variables. Esta variabilidad se atribuye al origen de la planta, la edad, el tipo de tejido, tiempo de muestreo, y el ambiente. Generalmente, las poblaciones bacterianas son más grandes en las raíces y disminuyen en los tallos y hojas (Lamb *et al.*, 1996); y las bacterias endófitas están a más bajas densidades de población que las bacterias rizosféricas (Hallmann *et al.*, 1997; Rosenblueth y Martínez-Romero, 2004). Las concentraciones naturales de endófitos pueden variar entre 2.0 y 6.0 log₁₀ UFC g⁻¹ para la alfalfa (*Medicago sativa*), maíz (*Zea mays*), remolacha (*Beta vulgaris*), calabaza (*Cucurbita pepo*), algodón (*Gossypium hirsutum*) y papa (*Solanum tuberosum*), según lo descrito por Kobayashi y Palumbo (2000).

Experimentos de competitividad con endófitos han mostrado que algunos son colonizadores más agresivos y desplazan a otros. Esto se observó con *Pantoea* sp compitiendo con *Ochrobactrum* sp en arroz (Verma *et al.*, 2004) y con diferentes cepas de *Rhizobium etli* en el maíz (Rosenblueth y Martínez-Romero, 2004). Sin embargo, se ha observado una falta de especificidad estricta en el rango de hospedante de una gran diversidad de endófitos (Zinniel *et al.*, 2002).

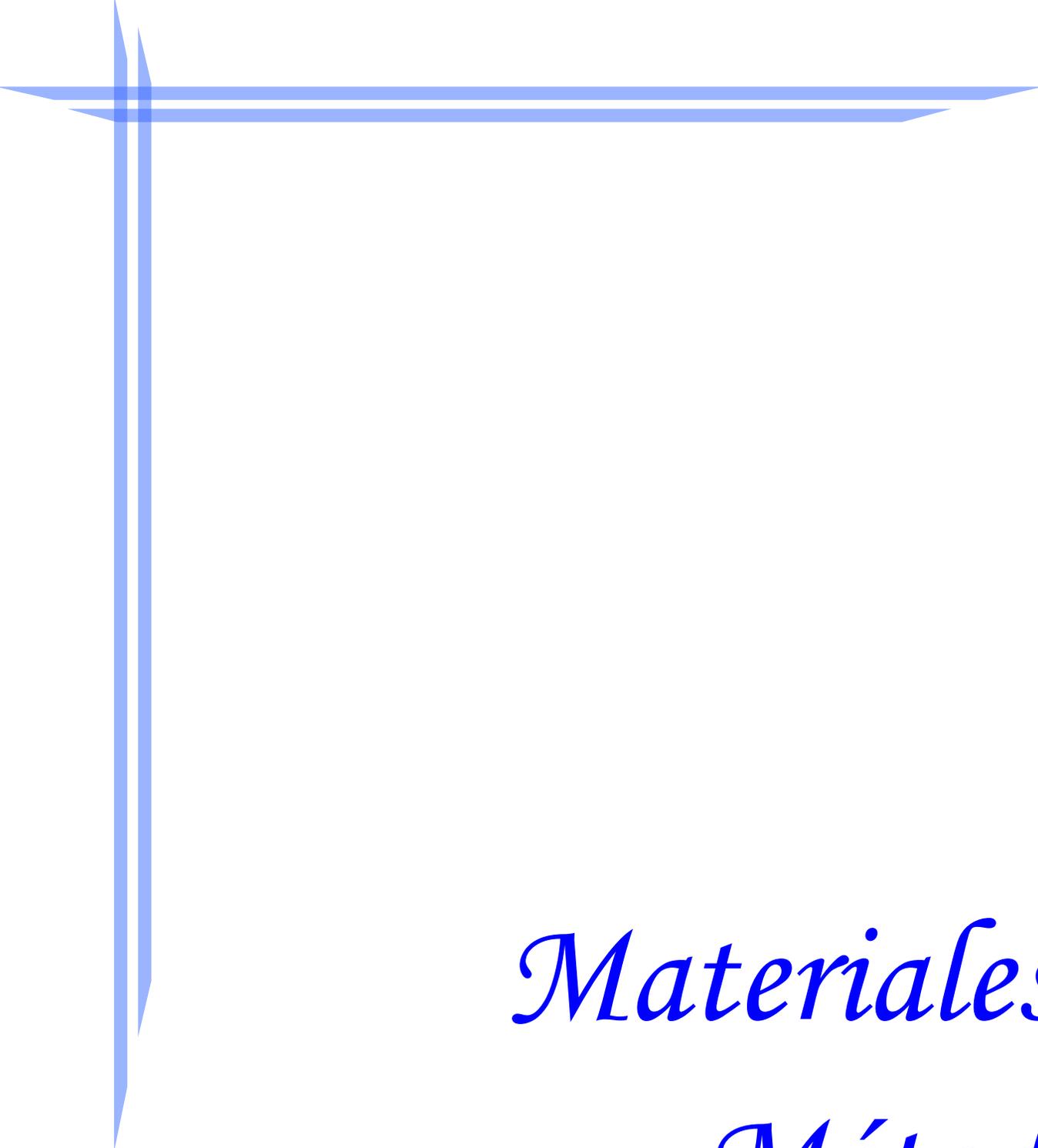
La densidad de la población de endófitos es muy inconstante, dependiendo principalmente de las especies bacterianas y del genotipo del hospedante pero también de la fase de desarrollo del hospedante, la densidad del inóculo, y las condiciones medioambientales (Pillay y Nowak, 1997; Tan *et al.*, 2003).

La estimulación del crecimiento por los microorganismos endófitos puede ser una consecuencia de la fijación de nitrógeno (Hurek *et al.*, 2002; Iniguez *et al.*, 2004) o la producción de fitohormonas, biocontrol de fitopatógenos en la zona de la raíz (a través de la producción de agentes antifúngicos o antibacterianos, la producción de sideróforos, la competencia por nutrientes e inducción de resistencia sistemática adquirida por el hospedante, o inmunidad) o mejorando la disponibilidad de minerales (Sessitsch *et al.*, 2002).

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Brasil ha sido cultivada durante muchos años con cantidades pequeñas de fertilizante sin mostrar síntomas de deficiencias de nitrógeno. Fuera de muchos fijadores de N₂ endófitos aislados de la caña de azúcar, no se ha definido claramente cual es responsable de la fijación de N dentro de la planta. Sin embargo, existe controversia, en el nivel de N fijado por los endófitos y la proporción contribuida a la planta (Giller y Merckx, 2003). Estas estimaciones varían ampliamente en diferentes informes y van desde 30 a 80 kg N ha⁻¹ año⁻¹ (Boddey *et al.*, 1995). Bajo condiciones óptimas, algunos genotipos de plantas parecen obtener parte de sus requisitos de nitrógeno de la propia fijación de este elemento.

El pasto Kallar (*Leptochloa fusca*) crece en los suelos pobres en nitrógeno en Pakistán y una gran diversidad de *Azoarcus spp* se han recuperado de él (Reinhold-Hurek *et al.*, 1993). Dentro del trigo, *Klebsiella spp* cepa Kp342 fija N₂ (Iniguez *et al.*, 2004), y se ha reportado que aumenta el rendimiento de maíz (*Zea Mays*) en el campo (Riggs *et al.*, 2001). En este sentido, los endófitos fijadores de nitrógeno parecen remediar las deficiencias de N de la batata en los suelos pobres en N (Reiter *et al.*, 2003).

Los pastos que crecen en las dunas de arena pobres en nutrientes contienen miembros de los Géneros *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas* así como *Burkholderia*. Parece que los endófitos de *Burkholderia* pudieran contribuir con nitrógeno a los pastos, porque se detectó la nitrogenasa con anticuerpos en las raíces dentro de las paredes celulares de la planta, los tallos y los rizomas (Dalton *et al.*, 2004).



*Materiales y
 Métodos*

3. Materiales y Métodos

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Central de “Las Villas”, en el periodo comprendido entre 28 de enero del 2014 y el 28 de mayo del 2014.

Características del suelo en estudio

El suelo del área de estudio se clasifica como:

- Pardo con carbonatos (Instituto de Suelos, 1975)
- Cambisol eútrico (FAO/UNESCO, 1988) (Hernández *et al.*, 2005)
- Orden Inceptisol; Suborden Ustept.; Subtipo: Mollic Eutrudept (SOIL TAXONOMY, 1999) (Hernández *et al.*, 2005)
- Pardo mullido carbonatado (Hernández *et al.*, 1999)

3.2 Descripción del experimento en condiciones semicontroladas

El objetivo del experimento en condiciones semicontroladas fue determinar el efecto de la fertilización alternativa en el cultivo de sorgo sobre un suelo Pardo mullido carbonatado (suelo representativo de la estación experimental “Álvaro Barba Machado” perteneciente al CIAP, a la profundidad de 0 – 20cm). El suelo se secó al aire libre, para pasarlo por un tamiz de 4mm y luego se colocó en bolsas de polietileno de 1kg.

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar, con 8 tratamientos y 4 réplicas cada uno, para un total de 32 bolsas. Se utilizó como planta indicadora, el sorgo granífero, variedad UDG – 110. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:

1. Testigo (Control sin fertilización).
2. 100 kg ha⁻¹ de N (Urea).
3. 4 t ha⁻¹ de Humus de Lombriz.
4. 4 t ha⁻¹ de Estiércol Vacuno descompuesto.
5. Cepa 4
6. Cepa 6
7. Cepa 24
8. Combinación de las cepas 4+6+24

Se sembraron 12 semillas de sorgo en cada bolsa de polietileno de 1 kg, que contenían el suelo en estudio y luego de la germinación se redujo a 4 el número de plantas por bolsa. Las mismas

se mantuvieron por treinta y cinco días. Durante el desarrollo del experimento, la humedad del suelo se mantuvo próxima al 80 % de su capacidad de campo correspondiente.

La dosis de Urea se aplicó en una solución a toda la masa de suelo. El Humus de Lombriz y el Estiércol Vacuno descompuesto se mezcló a toda la masa de suelo, de forma uniforme; mientras que se peletizaron las semillas con las 4 cepas de las bacterias empleadas.

La dosis de 100 kg ha^{-1} de N ($0,04464 \text{ g de N por bolsa de } 1 \text{ kg}$, la que equivale a $0,09705 \text{ g de Urea para una bolsa de } 1 \text{ kg}$), se aplicó mediante una solución de $1,9410 \text{ g de Urea para } 1 \text{ L}$. Los abonos orgánico – minerales se mezclaron con toda la masa de suelo seco al aire. El nivel de 4 t ha^{-1} de estiércol vacuno descompuesto y humus de lombriz, corresponde a $1,7856 \text{ g para la bolsa de } 1 \text{ kg}$.

Una vez terminado el experimento en condiciones semicontroladas, se puso a secar al aire el suelo, después se pasó por un tamiz de 2 mm para análisis físicos y por tamiz de 0.5 mm para los análisis químicos.

En la tabla 1 se muestra la caracterización química de los abonos orgánicos empleados en el experimento. En las tablas 2 y 3 aparecen la caracterización morfológica de las cepas bacterianas y su procedencia.

Tabla 1. Caracterización química de los abonos orgánicos utilizados.

Parámetros	Unidad	Estiércol vacuno descompuesto	Humus de lombriz
pH (agua)		6.68	7.77
Humedad	(%hbss)	63.63	32.89
Ceniza		73.78	80.41
MO		26.22	19.59
Carbono		15.21	11.37
Fe		0.086	1.298
Zn	%	0.166	0.017
Cu		0.015	0.0099
Mn		0.029	0.096
Ca		0.628	1.19
Mg		0.728	1.280

Tabla 2. Caracterización morfológica de las cepas bacterianas empleadas.

Cepa	Código	Crec.	Color	Mucos.	Bordes	Elevación	Morfología	Gram
4	PNF-57	+++	2***	++	++	++	CB	-
6	FE-55	+	3*	+++	+	++	BL	-
24	FRz-106	+	2***	+++	++	++	BC	-

Parámetro	Descripción
Crecimiento	(+) ligero (++) moderado (+++) abundante
Color	(1) Transparente (2) Translucido (3) Opaco (2*) rosado translucido (2**) amarillo translucido (2***) blanco translucido (3*) blanco opaco (3**) amarillo opaco (3***) naranja opaco
Mucosidad	(-) ninguna (+) ligero (++) moderado (+++) abundante
Bordes	(+) regular (++) irregular
Elevación	(+) plano (++) elevado
Morfología	(BL) bacilo largo (BC) bacilo corto (CB) cocobacilo
Gram	(+) positivo (-) negativo

Tabla 3. Procedencia de los aislados empleados en el experimento en condiciones semicontroladas.

Cepa No. (código)	Suelo	Días del ciclo	Procedencia	Medio de cultivo
4 (PNF-57)	Pardo	7	Rizosfera	NFb
6 (FE-55)	Ferralítico	7	Endófito raíz	Agar nutriente
24 (FRz-106)	Ferralítico	7	Rizosfera	Agar nutriente

3.3 Análisis físicos y químicos del suelo

Después de cosechadas las plantas, todo el suelo que contenía las bolsas, se puso a secar el aire. Una vez seco, se pasó por tamiz de 2.0 mm para análisis físicos y por 0.5 mm para los análisis químicos.

Las determinaciones físicas y químicas se realizaron en los Laboratorios de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) por los siguientes métodos:

- **Coefficiente de permeabilidad:** Aporta valiosa información para el estado físico del suelo es uno de los métodos más completo y puede servir para el diagnóstico del manejo ecológico del suelo. Se realizó según el método de Henin *et al.*, (1958) donde se calcula el Log_{10} del coeficiente 10^*K , para cada muestra con la utilización de un infiltrómetro siguiendo la fórmula:

$$\text{Permeabilidad} = \text{Log } 10 K \text{ y } K = (e \cdot V) / (H \cdot S).$$

Donde: K = coeficiente de percolación, e = altura de la columna de suelo, V = volumen en ml de agua percolada en una hora, H = altura de la columna líquida o lámina de agua, S = área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar.

- **Factor de estructura (FE):** Este indicador caracteriza la cantidad de arcilla que actúa como cementante en la formación de suelo. Si todas las arcillas contenidas intervienen en la formación de la estructura, el factor equivalente al 100 %, entonces tiene buena estabilidad estructural, si interviene la mitad, 50 %, la estabilidad es mala. Se halla a través de la determinación de la arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, según el análisis mecánico (a). De acuerdo con Vageler y Alten, (1931) citados por Cairo (2006), la fórmula es la siguiente:

$$FE = ((a - b)/a) * 100$$

- **Agregados Estables (AE):** Por el método de Henin *et al.*, (1958) citado por Cairo (2000). Este método consiste en echar 5 g de suelo en un elermeyer, añadir 200 ml de agua destilada y dejar en reposo 30 minutos. Luego, se somete la solución al golpeteo (40 golpes) durante 20 segundos y se tamiza en un tamiz de 0,2 mm. Lo que se queda en el tamiz son los agregados estables.

- **pH (H₂O) y pH (KCl):** Método potenciométrico de Hesse, (1971), usando la relación de suelo: solución 1:2.5.

- **P₂O₅ y K₂O:** Método de Oniani. Solución extractiva de ácido sulfúrico (0,1 N). Se determinó el K₂O por fotometría de llama y el P₂O₅ por el método colorimétrico.

- **Materia Orgánica (MO):** Método colorimétrico de Walkey y Black, por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

Todos los análisis químicos se realizaron según la Norma Ramal 279 del MINAGRI (NRAG 279, 1980).

3.4 Evaluación de los indicadores morfofisiológicos de la planta indicadora (sorgo granífero)

- **Altura de las Plantas (AP) y Longitud de la Raíz (LR):** se midieron con una cinta métrica, en cm.

- **Peso Fresco de Follaje y Raíz por separado (PFF y PFR):** recién cosechada se pesan en una balanza analítica, en gramos.

- **Peso Seco de Follaje y Raíz por separado (PSF y PSR):** las muestras fueron puestas en la estufa a 65 °C durante 48 horas y luego fueron pesadas en una balanza analítica, en gramos.

3.5 Análisis Microbiológico

Las determinaciones microbiológicas se realizaron en el laboratorio de Microbiología del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), utilizando en todas el método de conteo en placas

con diluciones de 1 g de suelo a diferentes concentraciones en medio de cultivo sólido. La composición química de los 3 medios de cultivos utilizados se muestra en la tabla 3.

- Bacterias: Aplicando 1 mL de la dilución de concentración 10^8 al medio de cultivo “Glicerina Peptona Agar”
- Hongos: Aplicando 1 mL de la dilución de concentración 10^5 al medio de cultivo “Agar Rosa de Bengala”
- Actinomicetos: Aplicando 1 mL de la dilución de concentración 10^5 al medio de cultivo “Almidón Amoniaca Agar”.

Tabla 4. Composición química de los medios de cultivos utilizados.

<i>Medio de cultivo "Glicerina Peptona Agar"</i>		<i>Medio de cultivo "Agar Rosa de Bengala"</i>		<i>Medio de cultivo "Almidón Amoniaca Agar"</i>	
<i>Ingrediente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Ingrediente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Ingrediente</i>	<i>Cantidad</i>
Glicerina	2.0 g	Glucosa	10.0 g	(NH ₄) ₂ SO ₄	2.0 g
Peptona	2.5 g	NaNO ₃	1.0 g	K ₂ HPO ₄	1.0 g
K ₂ HPO ₄	1.0 g	K ₂ HPO ₄	1.0 g	CaCO ₃	3.0 g
CaCO ₃	0.04 g	Rosa de Bengala	0.07g	NaCl	1.0 g
NaCl	3.0 g	Agar (1.5%)	15.0g	MgSO ₄	1.0 g
MgSO ₄	0.25 g	Extracto de suelo*	1L	Almidón soluble	3.0 g
FeSO ₄	0.01 g	*Extracto de suelo: 500 g de suelo fértil en 1200 ml de agua común, se pone en la autoclave por 1 hora, añadir y filtrar, llevar a 1 L, pH de 6.8 a 7.0.		Agar (1.5%)	15 g

3.6 Procedimiento estadístico

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional **STATGRAPHICS CENTURION**, Versión 15.2 sobre Windows XP. Se aplicó Análisis de Varianza de clasificación simple con la prueba de comparación de medias de Tukey HSD, verificando la homogeneidad de la varianza, y la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, para aquellos datos que no cumplieron los requisitos de la homogeneidad de la varianza. Además se hicieron las correlaciones de Pearson y análisis de regresión simple.



*Resultados y
Discusión*

4. Resultados y discusión

4.1 Influencia de los tratamientos en los parámetros morfofisiológicos de la planta

La tabla 6 muestra el efecto de los tratamientos sobre los parámetros del crecimiento de la planta. En la altura de la planta, los tratamientos con mejores resultados fueron la cepa 24 y el estiércol vacuno descompuesto, alcanzando valores de 51.65 cm con diferencia estadísticas significativas con el resto.

Donde más se estimula el crecimiento de la longitud de la raíz es en N 100kg ha⁻¹ y en la cepa 4 presentando diferencia significativa respecto al testigo y a la cepa 4, no siendo con el resto de los tratamientos empleados.

El mayor valor para peso fresco del follaje se obtiene en la combinación de las 3 cepas bacterianas, superando con diferencia significativa a la cepa 6 y N 100kg ha⁻¹. En cuanto a peso seco del follaje, el valor más alto lo tiene la combinación de las 3 cepas bacterias alcanzando 0.97 g con diferencia significativa respecto a la cepa 6 y N 100kg ha⁻¹.

Para el peso fresco de la raíz la combinación de las 3 cepas bacterianas, N 100kg ha⁻¹ y humus de lombriz, son los de mejores resultados entre 2.44 g y 2.06 g; estos superan al resto de los tratamientos, presentando diferencias significativas. El mejor valor de peso seco de la raíz se alcanza con el tratamiento de las 3 cepas bacterianas con 0.54 g, el cual sobrepasando a varios tratamientos en 0.19 presentando diferencia significativa respecto al testigo.

Resultados similares obtuvo (Ferraris, 2010) donde los aislados rizoféricos presentan diferencias significativas respecto al testigo en soya y trigo. (Suárez, 2012), obtuvo que estas cepas bacterianas tienen efecto sobre los parámetros morfofisiológicos evaluados.

Tabla 6. Influencia sobre los parámetros morfofisiológicos del sorgo

Tratamientos	AP	PFF	PSF *	LR	PFR *	PSR *
	(cm)	(g)	(g)	(cm)	(g)	(g)
Testigo	49.25 ^{ab}	8.76 ^{ab}	0.91 ^{ab}	17.08 ^c	1.69 ^b	0.44 ^b
Urea (N 100kg ha ⁻¹)	45.91 ^b	7.00 ^{bc}	0.73 ^{bc}	25.37 ^a	2.42 ^a	0.52 ^a
4tha ⁻¹ Humus de lombriz	50.20 ^{ab}	8.20 ^{abc}	0.88 ^{ab}	23.92 ^{ab}	2.06 ^a	0.49 ^a
4tha ⁻¹ Estiércol Vacuno Descompuesto	51.65 ^a	8.64 ^{ab}	0.94 ^a	23.27 ^{ab}	1.76 ^b	0.45 ^b
Cepa 4	50.55 ^{ab}	8.86 ^{ab}	0.95 ^a	25.17 ^a	1.38 ^c	0.35 ^c
Cepa 6	45.57 ^b	6.47 ^c	0.70 ^c	24.20 ^{ab}	1.70 ^b	0.45 ^b
Cepa 24	51.15 ^a	8.87 ^{ab}	0.95 ^a	21.15 ^b	1.79 ^b	0.47 ^b
Cepa 4+6+24	49.47 ^{ab}	9.13 ^a	0.97 ^a	24.73 ^{ab}	2.44 ^a	0.54 ^a
EE=±	1.1096	0.4379	0.04482	0.8414	0.08870	0.03046
Valor – P	0.0035	0.0014	0.01	0.0000	0.0017	0.011

a, b, c medias con letras no comunes en una misma columna, muestran diferencias estadísticas significativas según prueba de Tukey HSD. Para PSF = Peso seco del follaje; PFR = Peso fresco de la raíz; PSR = Peso seco de la raíz según prueba de Kruskal-Wallis.

4.2 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo

El efecto de los diferentes tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo en condiciones semicontroladas (Tabla 7) se demostró que los resultados obtenidos en la determinación de la permeabilidad las cepas 6, 24 y la combinación de las 3 cepas obtuvieron los mejores resultados dando valores de 2.50, evaluados de excelente, según Cairo, (2006); mostraron diferencias significativas respecto el testigo y los demás tratamientos. Rodríguez, (2010) demuestra que cuando la permeabilidad es excelente hay cambios favorables en la estructura y agregación del suelo.

Los agregados estables van desde regular (40 – 55%) en el testigo y urea, cambiando a la categoría de bueno en humus de lombriz, estiércol vacuno descompuesto y las cepas 4, 6, 24, alcanzando el mejor resultado la combinación de las 3 cepas bacterianas con un valor de 63.88 % no presentando diferencia significativa con la cepa 24 pero si con los demás tratamientos empleados.

El factor de estructura llega a la categoría de bueno, cuando se aplica al suelo estiércol vacuno descompuesto, humus de lombriz, las cepas 4, 24 y la combinación de las 3 cepas, con % mayores de 68.73 hasta 84.95. La cepa 6 supera el testigo y la urea con 62.63%, inclusive cuando se evalúa de regular. El factor de estructura en testigo y urea se clasifica como malo (menos de 55 %).

Las leyes más generales de los agroecosistemas y, específicamente, los procesos bioquímicos, influyen en las propiedades físicas a través de los procesos de la formación de agregados y de bioporos, formándose la bioestructura, donde participan las bacterias y hongos del suelo. La pérdida de aquella produce compactación del suelo y como consecuencia, se forman costras impermeables al agua y aire en superficie, afectando la fertilidad de los suelos (Crespo *et al.*, 2006).

Tabla 7. Influencia de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo

Tratamientos	Permeabilidad	Agregados Estables	Factor de Estructura
	(log 10k)	(%)	(%)
Testigo	2.23 ^d	48.09 ^c	62.97 ^d
Urea (N 100kg ha ⁻¹)	2.32 ^c	48.21 ^c	62.73 ^d
4tha-1 Humus de lombriz	2.42 ^b	56.78 ^b	68.73 ^c
4tha ⁻¹ Compost	2.35 ^c	56.77 ^b	69.56 ^{bc}
Cepa 4	2.36 ^c	56.99 ^b	73.69 ^b
Cepa 6	2.49 ^a	56.19 ^b	62.63 ^d
Cepa 24	2.49 ^a	61.96 ^a	84.95 ^a
Cepa 4+6+24	2.50 ^a	63.88 ^a	83.29 ^a
EE=±	0.01108	0.6840	0.9409
Valor – P	0.0000	0.0000	0.0000

a, b, c, d medias con letras no comunes en una misma columna, muestran diferencias estadísticas significativas según prueba de Tukey HSD.

4.3 Efecto de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo

La tabla 8 expresa la influencia de los tratamientos sobre la fertilidad del suelo. El pH (H₂O) del suelo, está en la categoría de neutro con valores hasta de 7.77 en la cepa 6. Todos los tratamientos superan significativamente al testigo. En el caso del pH (KCl), en todos se evalúa de neutros (6 – 7.8), los mejores valores se encuentran en (N 100kg ha⁻¹) y la cepa 6, con incrementos significativos respecto a testigo, humus de lombriz, estiércol vacuno descompuesto y las cepas 4, 24 y la combinación de las 3 cepas. Según Cairo *et al.*, (2005) otras propiedades del suelo, dependientes o asociadas al pH, son las que ejercen el efecto directo sobre el desarrollo de las plantas, tales como la toxicidad por aluminio o manganeso, menor absorción de algunos nutrientes y disminución de la actividad microbiana. Se han establecido rangos óptimos de pH para diversos cultivos, no obstante la utilidad de su valor dependerá en gran medida del grado de correlación, que éste guarde con otras propiedades del suelo. Correa (2001), plantea que el cultivo se desarrolla bien en suelos cuyo pH oscile entre 5,5 y 8,5; sin embargo, el pH ideal está entre 5,5 y 6,5.

La materia orgánica se encuentra entre 2.11 – 2.52, alcanzando el valor más elevado estiércol vacuno descompuesto, ya que se encontraba en un estado de madures optimo para su aplicación no siendo así el humus de lombriz que presenta 2.36 % de materia orgánica y es el fertilizante orgánico por excelencia, las cepas bacterianas muestran diferencia significativa respecto al testigo y no presentan diferencia significativa con humus de lombriz.

No existe diferencia significativa de P₂O₅ entre los tratamientos, ya que el fósforo asimilable está por encima de 21.90 mg 100g⁻¹, alcanzando los mayores valores la urea, evaluados de muy alto, según los criterios de Fundora y Yepis (2000). (Álvarez, 2014) obtuvo resultados similares donde el tratamiento de urea alcanza los mayores valores de P₂O₅.

La aplicación de (N 100kg ha⁻¹) y la cepa 6 son los únicos tratamientos que elevan el nivel de potasio significativamente respecto al testigo, con 4.1 mg 100g⁻¹ de diferencia encontrándose en la categoría de alto (19.31 g). En los demás tratamientos se supera al testigo aunque no existan diferencias, el cual tiene 15.21 (mg 100 g⁻¹) de K₂O con un valor medio.

Tabla 8. Efecto sobre las propiedades químicas del suelo

Tratamientos	pH		MO	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(agua)	(KCl)	(%)	(mg 100 g ⁻¹)	
Testigo	7.19 ^d	6.72 ^c	2.11 ^d	19.89 ^a	15.21 ^b
Urea (N 100kg ha ⁻¹)	7.41 ^c	6.96 ^a	2.25 ^c	21.90 ^a	19.26 ^a
4tha-1 Humus de lombriz	7.25 ^d	6.68 ^c	2.36 ^b	21.90 ^a	16.45 ^{ab}
4tha ⁻¹ Estiércol Vacuno Descompuesto	7.24 ^d	6.69 ^c	2.52 ^a	21.47 ^a	15.83 ^b
Cepa 4	7.55 ^b	6.54 ^d	2.38 ^b	20.03 ^a	16.25 ^{ab}
Cepa 6	7.77 ^a	6.97 ^a	2.36 ^b	21.04 ^a	19.31 ^a
Cepa 24	7.60 ^b	6.84 ^b	2.27 ^c	21.04 ^a	17.32 ^{ab}
Cepa 4+6+24	7.61 ^b	6.81 ^b	2.41 ^b	20.47 ^a	18.57 ^{ab}
EE=±	0.02626	0.01498	0.01362	0.5007	0.7202
Valor – P	0.0000	0.0000	0.0000	0.0488	0.0015

a, b, c, d medias con letras no comunes en una misma columna, muestran diferencias estadísticas significativas según prueba Tukey HSD.

4.4 Análisis de correlaciones en el experimento en condiciones semicontroladas

El análisis de la matriz de correlación (tabla 9 y anexo 1) indica el grado de significación entre las variables. Destacando K₂O, altura de la planta y peso fresco del follaje que tienen gran cantidad de correlaciones significativas con el resto, (hasta 7), que representa el 53.85% del total. La materia orgánica, largo de la raíz, peso fresco de la raíz y peso seco de la raíz resultaron ser las propiedades, de menor grado de correlaciones significativas con el resto.

Colás, (2007) encuentra que la materia orgánica no manifiesta relaciones significativas con las demás variables. Gattorno, (2008) reporta que el pH, la materia orgánica obtienen el mayor % de correlación significativa en relación con el total de las propiedades estudiadas. Rodríguez, (2010) demuestra que las propiedades químicas resultaron ser las de menor número de correlaciones significativas con el resto.

Tabla 9. Correlaciones significativas del experimento en condiciones semicontroladas

Indicadores	Cantidad de correlaciones significativas del total	% que representa del total
AP (cm)	6 / 13	46.15
LR (cm)	3 / 13	23.08
PFF (g)	6 / 13	46.15
PSF (g)	5 / 13	38.46
PFR (g)	3 / 13	23.08
PSR (g)	3 / 13	23.08
pH (H ₂ O)	4 / 13	30.77
pH (KCl)	6 / 13	46.15
MO (%)	3 / 13	23.08
P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	3 / 13	23.08
K ₂ O (mg 100 g ⁻¹)	7 / 13	53.85
Permeabilidad (Log 10 K)	6 / 13	46.15
Agregados Estables (%)	4 / 13	30.77
Factor de Estructura (%)	5 / 13	38.46

AP= altura de la planta; LR=largo de la raíz; PFF=peso fresco del follaje; PSF=peso seco del follaje; PFR= peso fresco de la raíz; PSR=peso seco de la raíz, MO=materia orgánica.

4.4.1 Relaciones entre los parámetros de crecimiento de la planta

En la figura 1 y 2 se observan las estrechas relaciones de la altura de la planta con el PFF y PSF y presenta coeficientes de correlación (r) de 0.6975 y 0.5583, respectivamente. Cuando los valores de AP están por encima de 49 cm, el PFF supera 7.80 g y PSF 0.85 g. Mora *et al.*, (1995) citado por Dávila, (2007), plantearon que se incrementa el peso fresco, seco y altura de la planta, cuando se aplican abonos orgánicos.

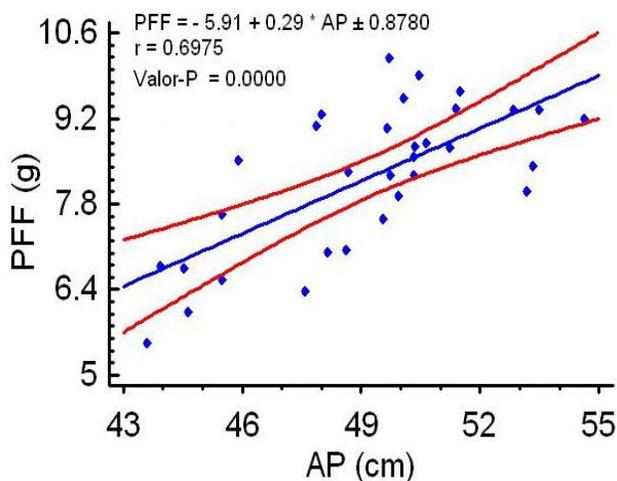


Figura 1. Relación entre el peso fresco del follaje y la altura de la planta

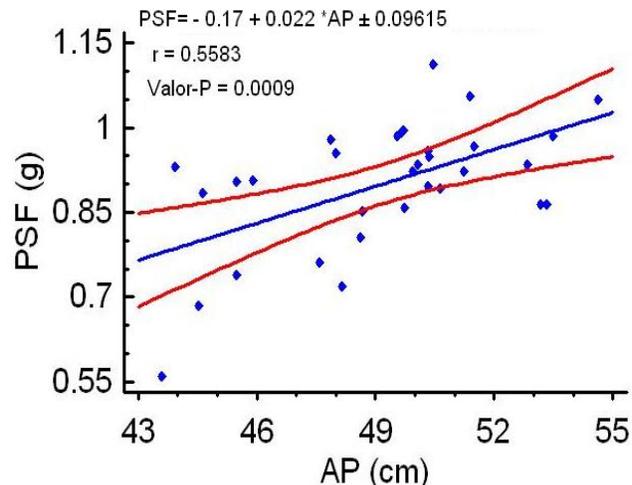


Figura 2. Relación entre el peso seco del follaje y la altura de la planta

4.4.2 Relaciones entre las propiedades del suelo

Las figuras 3 – 5 muestran que el suelo es un medio muy complejo, donde se dan innumerables interacciones que afectan de forma particular las propiedades físicas y químicas de este. Existe una estrecha relación entre el K_2O y el pH (KCl) del suelo, con un coeficiente de correlación (r) de 0.6445. Roquero y Porta, (1986) refiere que en el caso del potasio la mayor disponibilidad para las plantas se encuentra cuando el pH del suelo es mayor de 6.0 (Anexo 2). El pH (H_2O) presenta coeficientes de correlación de 0.69 y 0.52 con permeabilidad y los agregados estables al agua, respectivamente. La permeabilidad está evaluada de excelente en todos los casos, pero los mayores valores los alcanzan a pH superior a 7.2; en este mismo rango de pH los agregados estables al agua, llegan a la evaluación de bueno (> 55 %), según Cairo (2006). La agregación del suelo es el resultado de la secuencia de abonos orgánicos – actividad biológica – materia orgánica (Cairo, 2010). Se demuestra que el pH cuando está en rangos de neutralidad, tiene influencia en la disponibilidad de nutrientes y en las propiedades físicas del suelo, en la figura 6 se observa que a medida que cambia de categoría los Agregados estables, la permeabilidad se mantiene en los valores de excelente.

La figura 7 muestra que a medida que aumentan los agregados estables aumenta también el factor de estructura. Cuando el FE está por encima del 80 % (excelente) según Cairo, (2006), los agregados estables en agua se encuentran en la categoría de bueno, muy próximos a excelente (65%). Es evidente que el estado estructural de un suelo, indica no solo el estado de mullimiento que posee, sino que se transfiere al drenaje, aireación, laboreo y a la facilidad de las raíces del cultivo para penetrar en el suelo (Cairo, 2003). La relación que existe entre los agregados estables y la materia orgánica con coeficiente de 0.5543 (r), (figura 8), aunque el %

de materia orgánica del suelo se mantiene en medio (Anexo 2), por encima de 2.3 %, los agregados estables aumentan a más de 55 %, evaluándose de bueno, Cairo, (2006).

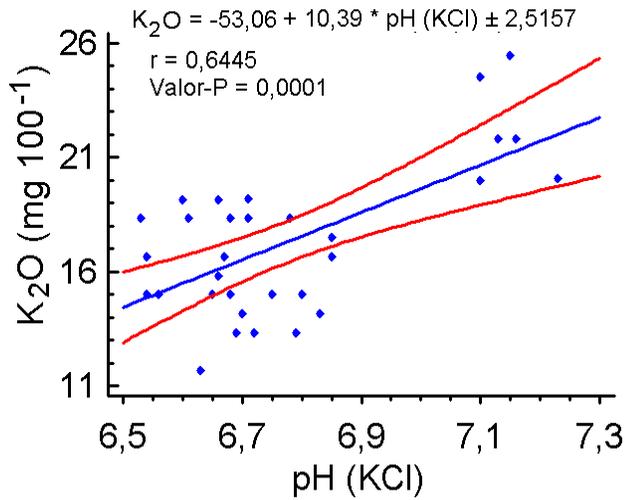


Figura 3. Relación entre el K₂O asimilable y el pH (KCl)

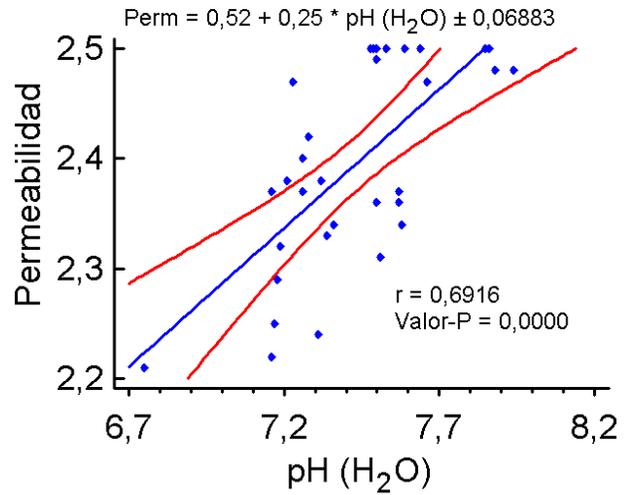


Figura 4. Relación entre la permeabilidad y el pH (H₂O)

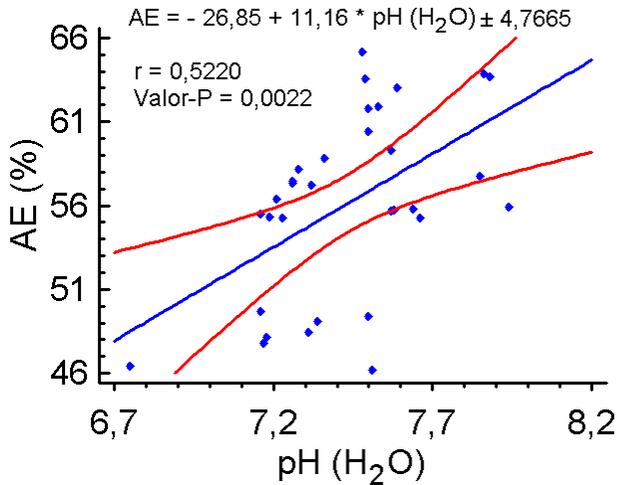


Figura 5. Relación entre los agregados estables y el pH (H₂O)

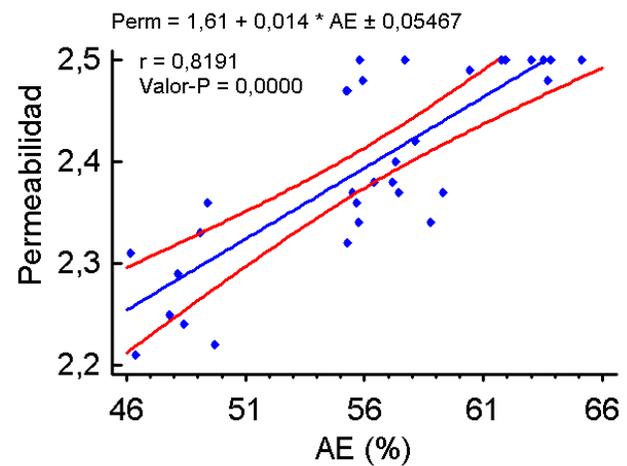


Figura 6. Relación entre los agregados estables y la permeabilidad

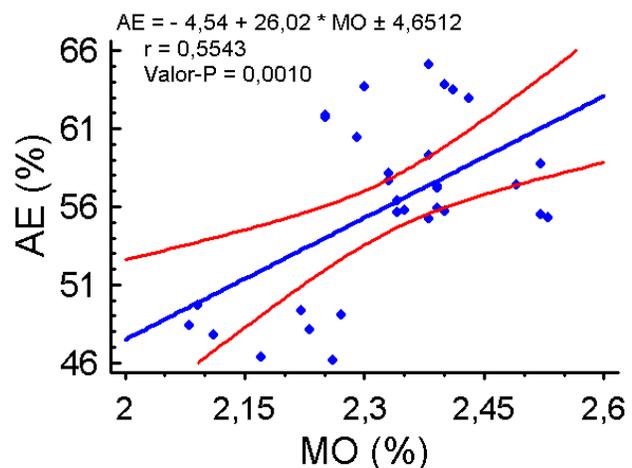
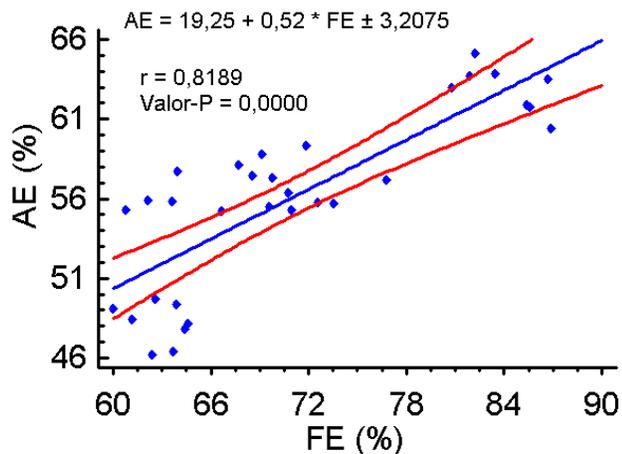


Figura 7. Relación entre los agregados estables y el factor de estructura

Figura 8. Relación entre los agregados estables y la materia orgánica

4.4.3 Relaciones entre las propiedades del suelo y los parámetros morfofisiológicos

Las figuras 9 - 12 muestran la influencia de las propiedades físicas del suelo sobre los parámetros morfofisiológicos de la planta. La materia orgánica guarda una estrecha relación con la longitud de la raíz ($r = 0.6687$), por encima de 2.3 % de materia orgánica, la raíz alcanza longitudes por encima de 25 cm. La materia orgánica también tiene efectos fisiológicos sobre la planta como son la absorción de sustancias húmicas, la absorción y el contenido de nutrientes, el crecimiento del sistema radicular, el desarrollo de la parte aérea de la planta Giner, (2004) citado por Dávila, (2007). Facilita también un mayor grado de exploración y actividad del sistema radicular (Montesinos, 1998 citado por Álvarez, 2005).

El factor de estructura al cambiar a excelente ($> 80\%$) provoca importantes incrementos en la altura de la planta, peso fresco del follaje y peso seco del follaje de las plantas de sorgo en condiciones semicontroladas, obteniéndose valores de AP mayores de 50 cm, 8.0 g de peso fresco del follaje y 0.85 g para el peso seco del follaje. Colás, (2007) plantea que los indicadores morfofisiológicos constituyen un elemento importante para evaluar las condiciones de calidad de un suelo, nos sirven para una evaluación integral de la relación suelo-planta. Según (Cairo, 2010) una buena estructura del suelo proporciona una adecuada expresión de los parámetros morfofisiológicos de la planta. En resumen, la estructura del suelo influye en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, por tanto, en determinados casos, puede ser el factor que limita la producción. Una mala estructura puede provocar efectos dañinos para la planta, por ejemplo, exceso o deficiencia de agua, falta de aire, incidencia de enfermedades, poca actividad microbiana, impedimento al crecimiento de las raíces, y cambios químicos perjudiciales, entre otros. Por el contrario, una buena estructura hace que los factores de crecimiento funcionen a su máxima eficiencia y se obtengan mayores rendimientos en las cosechas (Cairo y Fundora, 2005).

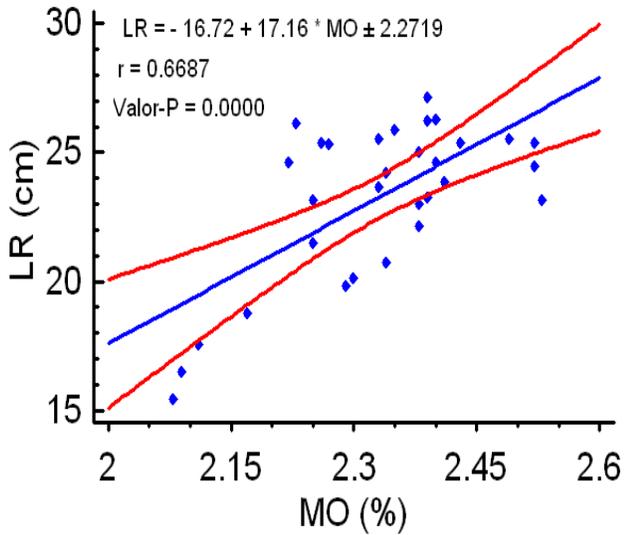


Figura 9. Relación entre el largo de la raíz y la materia orgánica

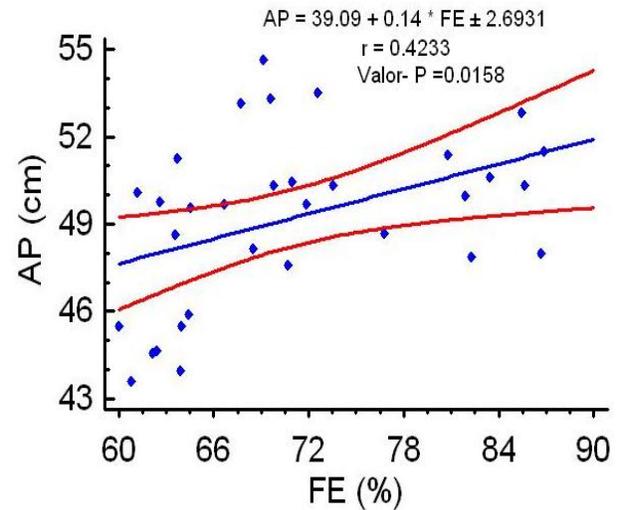


Figura 10. Relación entre la altura de la planta y el factor de estructura

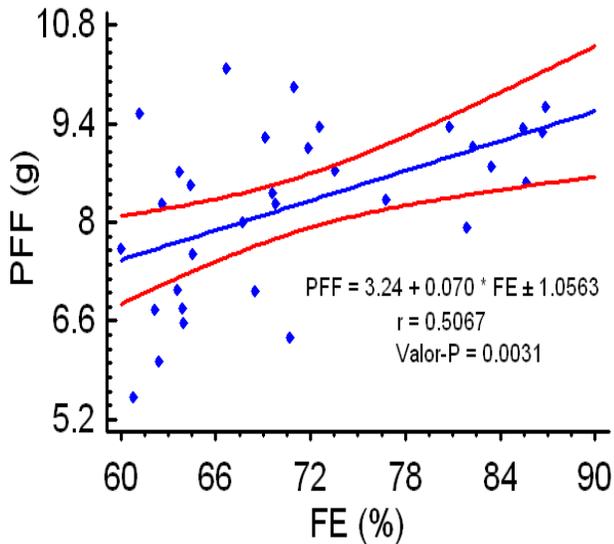


Figura 11. Relación entre el peso fresco del follaje y factor de estructura

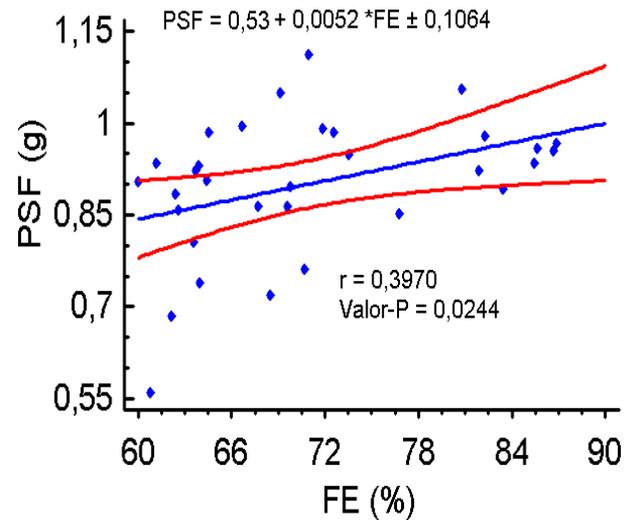


Figura 12. Relación entre el peso seco del follaje y el factor de estructura

4.5 Efecto de las cepas bacterianas sobre las bacterias, hongos y actinomicetos presentes en el suelo

Cuando utilizamos materiales orgánicos los microorganismos que habitan el suelo pueden modificar el flujo de nutrientes y mejorar el uso de los mismos por la planta. En la figura 13 se muestra el efecto de las cepas bacterianas sobre las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos del suelo. Se observa que las cepas bacterianas conviven con las bacterias y actinomicetos presentes en el suelo con valores similares al testigo la cepa 4 y 6 en cuanto a bacterias. Para el caso de actinomicetos en la cepa 4 disminuye y la cepa 6 aumenta hasta 183.10^5 UFC g^{-1} que representa el 80.26 % del total en suelo. Las mayores poblaciones de bacterias se encuentran en las cepas 24 y en la combinación de las tres cepas alcanzando hasta 45.10^8 UFC g^{-1} , que representa el 21.43 % del total de microorganismos presentes. Al comparar el testigo con las cepas bacterianas, se destaca un marcado control sobre los hongos del suelo de 137.10^5 UFC g^{-1} que representa un 42.68% hasta 3.10^5 UFC g^{-1} (1.94%) en la cepa 4. Rodríguez, (2006), en suelo Pardo con carbonatos, plantados con banano FHIA – 18, encontró similares números en las poblaciones fúngicas del suelo, por debajo de las bacterias y actinomicetos.

Por otra parte los suelos que mantienen un alto nivel de biomasa microbiana son capaces no solamente de almacenar más nutrientes, sino de reciclar más de ellos. Varias capacidades anabólicas y catabólicas son ampliamente distribuidas dentro de las poblaciones del suelo y si éstas son perturbadas, entonces organismos de grupos taxonómicamente diferentes son capaces de reemplazarse unos a otros en los ciclos de descomposición sin aparentes pérdidas en el funcionamiento del sistema suelo (Kennedy y Smith, (1995) citado por Rodríguez, (2006). Los hongos, según Wild (1992) citado por Álvarez, (2014), pueden representar el 70 % de la población microbiana y constituyen el segundo de los dos grandes grupos de microorganismos del suelo. Las bacterias son organismos procariotas unicelulares y son importantes debido a que algunas realizan funciones específicas como la oxidación del amoníaco a nitratos, mientras que otras intervienen en el proceso general de descomposición de materiales orgánicos, Thompson y Troeh, (1988) citado por Suárez, (2012).

Los actinomicetos son menos numerosos que las bacterias y uno de los factores favorables para su presencia es la abundancia de calcio, que proporciona una condición neutra o ligeramente alcalina (Thompson y Troeh, 1988) citado por Suárez, (2012). Son organismos típicamente aeróbicos, por lo que no suelen encontrarse en suelos encharcados, son más frecuentes en los suelos calientes que en los fríos y resultan muy poco tolerantes a la acidez.

La posibilidad de que predominen los hongos o el grupo bacterias-actinomicetos depende de las condiciones locales, especialmente del pH y del contenido de humedad (Wild, 1992) citado por Álvarez, (2014).

Julca *et al.*, (2006) plantean la necesidad de trabajar en el manejo ecológico del suelo como una herramienta importante de la agricultura orgánica. Dentro de esta tarea se busca actuar sobre las parcelas agrícolas de tal forma que permitan un aumento del contenido de la materia orgánica, lo cual a su vez tendría un efecto positivo sobre la biología del suelo.

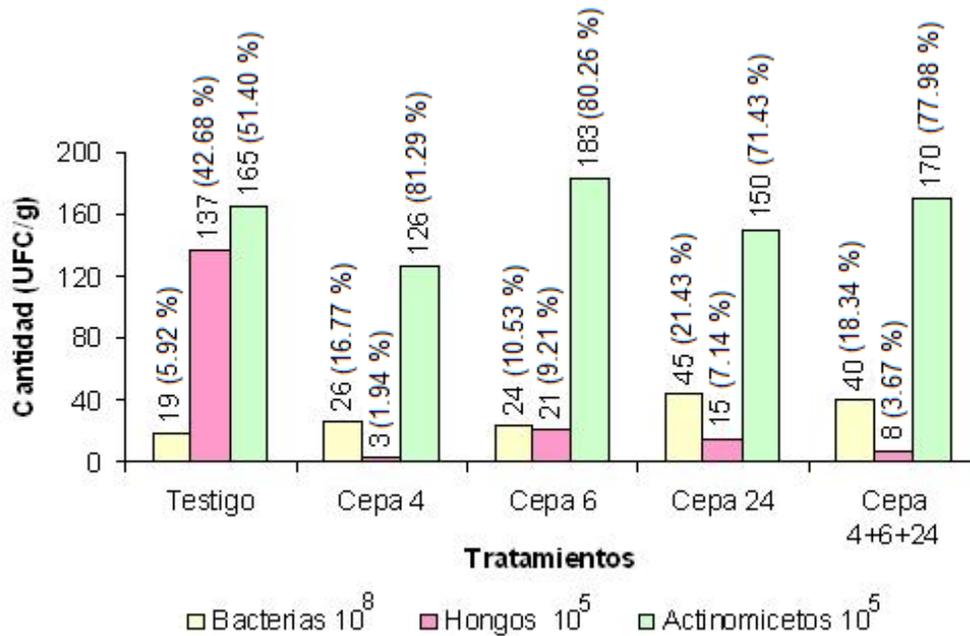
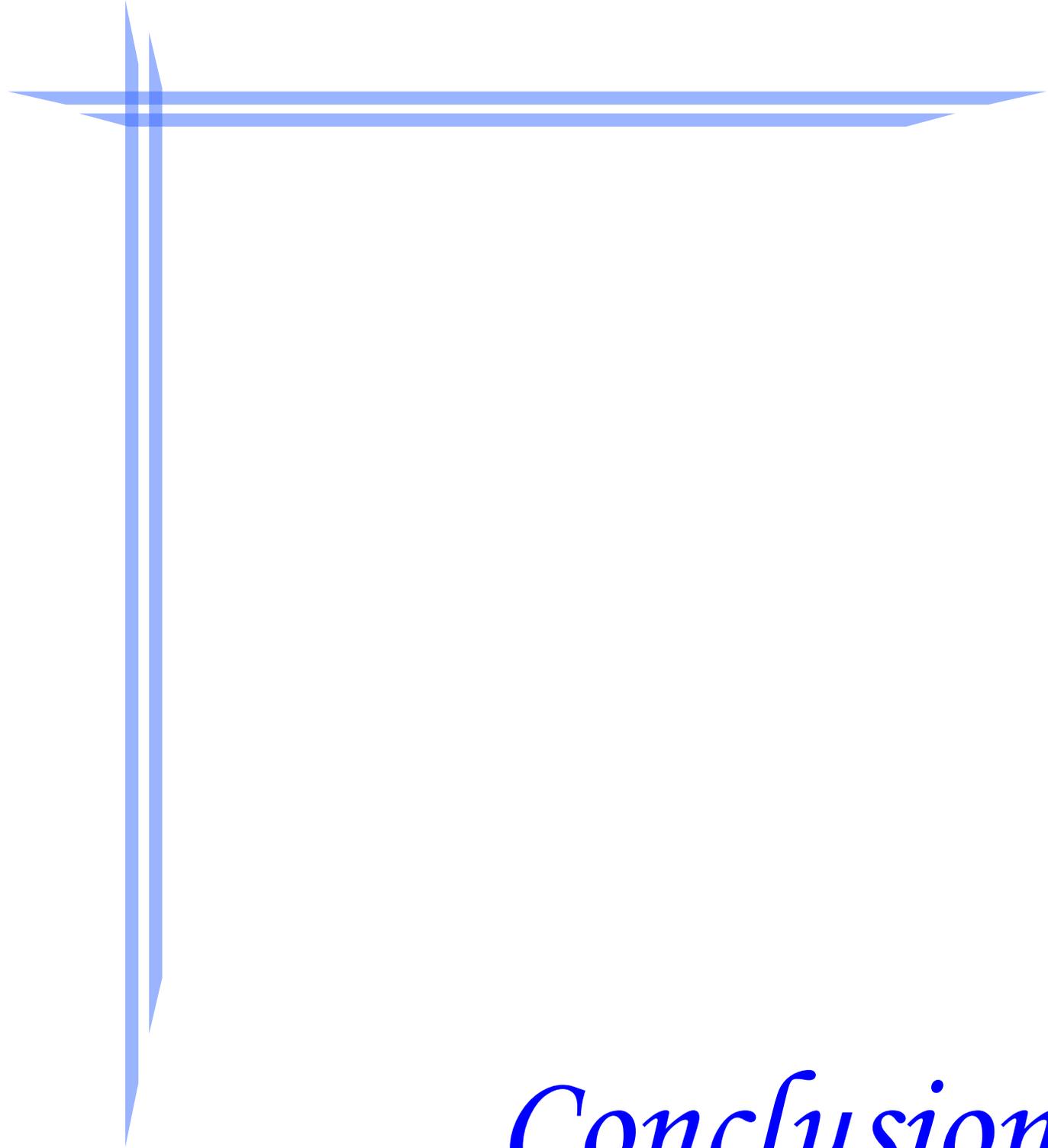


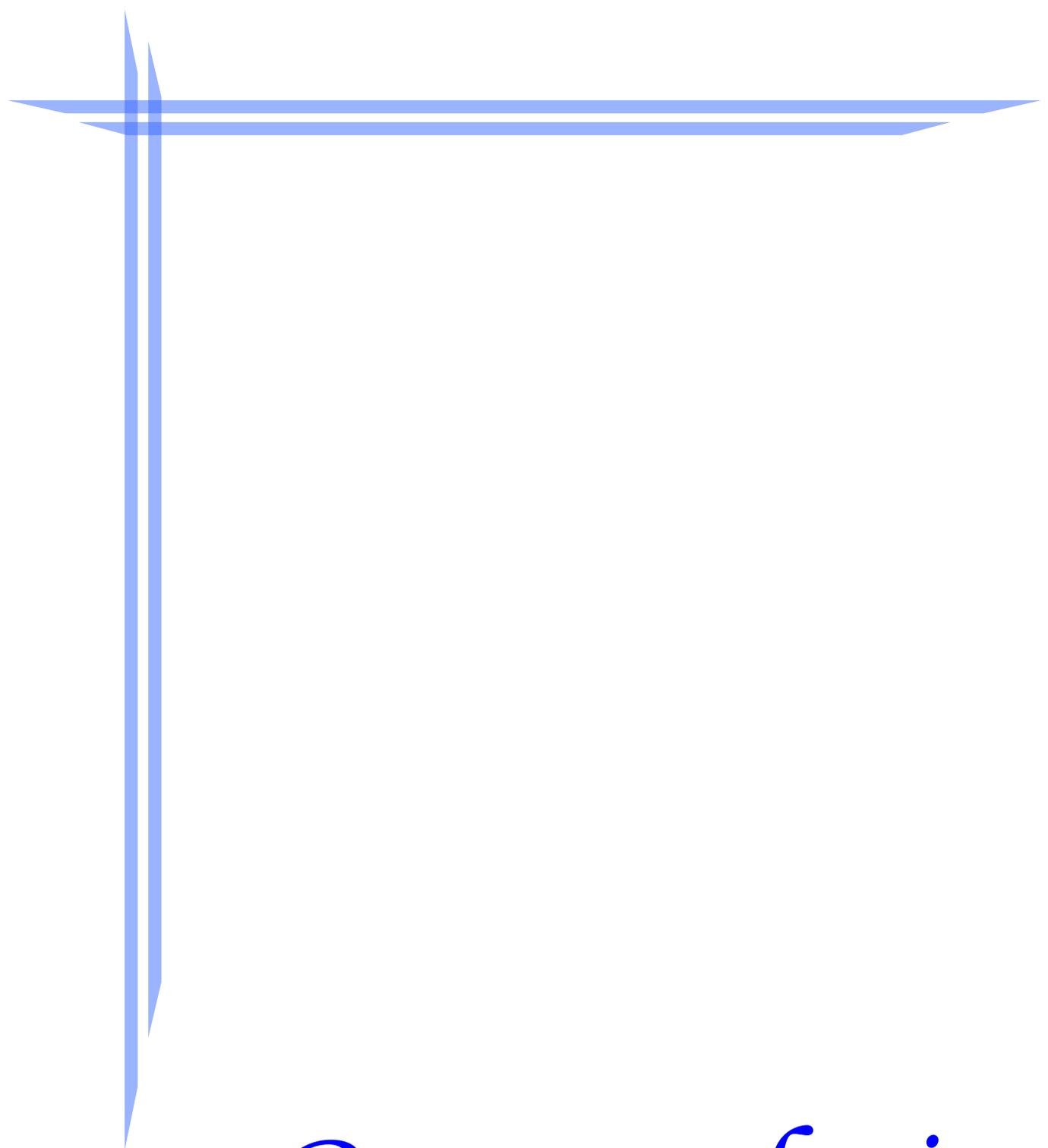
Figura 13. Efectos de las cepas bacterianas en la microbiota del suelo.



Conclusiones

5. Conclusiones

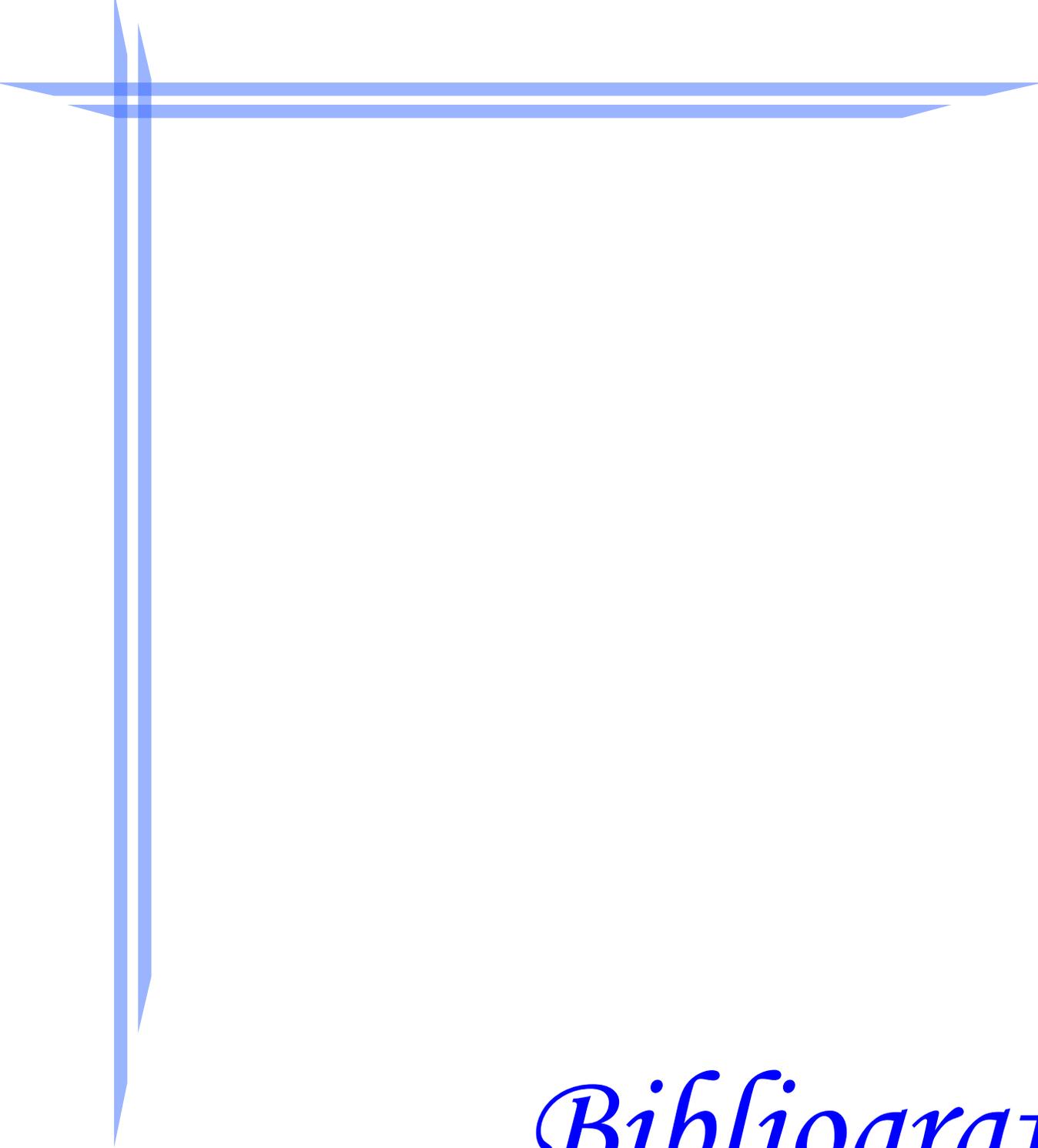
- 1- Al combinar las tres cepas bacterianas se obtienen los mejores resultados en los parámetros morfofisiológicos estudiados de la planta indicadora.
- 2- Las propiedades físicas mejoran sus valores en relación al testigo cuando se emplea la cepa 24 y la combinación de las tres (4+6+24), con cambios de categoría en todos los casos.
- 3- La aplicación de la cepa 6 se obtienen los mejores resultados en las propiedades químicas del suelo, excepto en la materia orgánica.
- 4- En los tratamientos bacterianos evaluados se constató un control sobre los hongos del suelo, y los mejores resultados se observaron con la cepa 4 y la combinación de las tres.



Recomendaciones

6. Recomendaciones

- 1- Realizar la identificación genética de las cepas en estudio, para su posterior reproducción.
- 2- Potenciar el estudio de la fertilización alternativa en otros tipos de suelo.
- 3- Consolidar este trabajo en condiciones reales en un experimento de campo.



Bibliografía

7. Bibliografía

- 1- Acuero, R. 1983. Utilización del grano de sorgo como fuente energética en raciones para cerdos en crecimiento y engorde. *Zootecnia Tropical*. 1:54.
- 2- Águila Alcántara, E. 2008. "Principios Agroecológicos Relacionados con el Manejo del Recurso Suelo." Del Programa Doctoral "Agricultura Tropical Sostenible," Año 2008, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- 3- Altieri, M.A. 2009. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. Agro ecología y agricultura sustentable. Conferencia, Centro de Convenciones, Santa Clara, 12 de Marzo.
- 4- Altieri, A. M. 1996. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. Agroecología y Agricultura Sostenible. Módulo 1. p. 122-149.
- 5- Álvarez, P. A. 2005. Introducción a la Agrosilvicultura. Curso Básico de Capacitación Forestal para profesionales del MINAZ. Universidad de Pinar de Río. 77 p.
- 6- Álvarez, Otani. 2014. Evaluación de la biomasa del bambú (*Bambusa vulgaris* Schrader Ex. Wendland) como una alternativa para la recuperación de suelos degradados. Tesis presentada en opción al título académico de master en agricultura sostenible mención fitotecnia. Facultad Ciencias Agropecuarias. UCLV. 93 p.
- 7- Argenti, P. & Espinosa, F. 2000. Alimentación alternativa para cerdos. Maracay. <http://www.Fonaiap.gov.ve/publica/divulga/fdG1/alimen.html>. [Consulta: 15/2/08].
- 8- Arias, V.A. 2004. Comportamiento de dos variedades de sorgo asociados con soya. *Centro Agrícola*. 31 (3-4):48.
- 9- Badía, M., B. Hernández, J. A. Murrel, J. Mahillon y M. Pérez (2011): Aislamiento y caracterización de cepas de *Bacillus* asociadas al cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Rev. Bras. de Agroecología*. 6(1): 90-99.
- 10- Baffes, J. 1998. Structural reforms and price liberalization in Mexican agriculture. *Journal of International Development*. 10 (5):575.
- 11- Bationo, A. & Vlek, P.L.G. 1998. The role of nitrogen fertilizers applied to food crops in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. In: Soil fertility management in West African land use systems. (Eds. Renard, G. *et al.*). Margraf Verlag. Weikersheim, Germany. p. 41.
- 12- Becker, D.; Stanke, R.; Fendrik, I.; Frommer, W. B.; Vanderleyden, J.; Kaiser, W. M. y Hedrich, R. (2002). Expression of the NH₄-transporter gene *LEAMT1; 2* is induced in tomato roots upon association with N₂-fixing bacteria. *Planta* 215:424–429.

- 13- Brenes, L. 2003. Producción orgánica: algunas limitaciones que enfrentan los pequeños productores. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 70: 7-18.
- 14- Bitton, g., lahav, n. Y henis, y., 1974. Movement and retention of *Klebssiella aerogenes* in soil columns. *Plant and Soil* 40, 373-380.
- 15- Boddey, R. M., de Oliveira, O. C., Urquiaga, S., Reis, V. M., Olivares, F. L., Baldani, V. L. D., and Döbereiner, J. (1995). Biological nitrogen fixation associated with sugar cane and rice: Contributions and prospects for improvement. *Plant Soil* 174:195-209.
- 16- Caballero, C. 1998^a. Sorgo forrajero. *ABC Rural*. p. 9.
- 17- Caballero, R. 1998^b. Recuperación de la disponibilidad de semilla categorizada de granos básicos del país. Instituto de Investigación Hortícolas «Liliana Dimitrova», La Habana. p. 274.
- 18- Cairo, P.; Machado, J.; Del Río, H.; Acosta, W.; Brito, J.; Torres, P.; Jiménez, R. 1995. Mejoramiento y fertilización de los suelos en condiciones de una agricultura sostenible de la caña de azúcar. II Encuentro nacional de Agricultura Orgánica. Libro de resúmenes, La Habana. P.8-9.
- 19- Cairo, P., Malvis Carvajal & Machado, J. 1996. Como mejorar la bioestructura de suelos degradados de la provincia de Santis Spiritus. *Rev. Agric. Orgánica*. N. 3. p. 7.
- 20- Cairo P. (2000). Alternativa para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de caña. *Revista Agricultura Orgánica*. pp.23- 25.
- 21- Cairo, P. 2003. Fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica del trópico (CD Biblioteca UCLV, 350 pp).
- 22- Cairo, P. y Fundora, O. 2005. Edafología Primera y Segunda Parte. Editorial. Félix Varela Ciudad de la Habana. 475 p.
- 23- Cairo, P. 2010. La fertilidad física del suelo. Conferencia Maestría Agricultura Sostenible.
- 24- Castro, N.J. 2000. Producción de biomasa en línea de sorgo con respuesta al estrés hídrico. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:321.
- 25- Colás, Ariany. 2007. Selección de indicadores de calidad para un suelo Ferralítico rojo compactado. Tesis presentada en opción al Título en Master en Ciencias en Agricultura sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
- 26- Correa, U.A. 2001. El sorgo en la producción animal. CREAS Zona Oeste, Gacetilla Informativa No. 166.

- 27- Crespo, G. y Fraga, S. (2006). Nota técnica acerca de la hoja rosca y nutrientes al suelo por las especies *Cajanus cajan* (L.) Millsp y *Albizia lebbek* (L.) Benth en sistemas silvo pastoriles. *Revista Cubana de Ciencias Agrícola*. 36:397.ISSN:0034-7485.
- 28- Dalton, D. A., Kramer, S., Azios, N., Fusaro, S., Cahill, E., and Kennedy, C. (2004). Endophytic nitrogen fixation in dune grasses (*Ammophila arenaria* and *Elymus mollis*) from Oregon. *FEMS (Fed. Eur. Microbiol. Soc.) Microbiol Ecol* 49:469-479.
- 29- Dávila C. A. 2007. Elaboración de compost con residuos de Centro de Acopio (RCA), y su evaluación Alternativa como abono órgano-mineral. Tesis Presentada en Opción al título académico de Master en Agricultura Sostenible. Universidad Central de las Villas. 80 p.
- 30- DGEA. 2004. Anuario de estadísticas agropecuarias 2003. Dirección General de Economía Agropecuaria, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). San Salvador, El Salvador. p. 989.
- 31- Díaz, B., P. Cairo, O. Rodríguez, P. Torres, R. Jiménez, I. Abreu, A. Dávila y A. Colas (2005): Evaluación de la sostenibilidad del manejo del suelo pardo con carbonatos (Inceptisol) a través de indicadores de calidad del mismo. *Centro Agrícola* 32 (2): 73-78.
- 32- Döbereiner, J., J. L. Baldani y V. L. D. Baldani (1995): Como isolar e identificar bacterias diazotróficas de plantas ñao leguminosas. EMBRAPA-SPI, Brasília, Brazil. 60 pp.
- 33- Doggett, H. 1998. Sorghum. 2nd edition. Longman Scientific and Technical, London. 512 p.
- 34- Duke, J. 1983. Sorghum X alnum Parodi. Handbook of energy crops. [En línea]: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke-energy/Sorghum-X_almum.html. [Consulta: 8/8/05].
- 35- Fassbender, H. 1982. Química de Sueloscon énfasis en suelos de América Latina. 3ra reimpresión. IICA San José, Costa Rica. p 422.
- 36- FAO-ICRISAT. 1997. La Economía del sorgo y del mijo en el mundo; hechos, tendencias y perspectivas. ICRISAT. 123 p.
- 37- Ferraris, G. 2010. Microorganismos con efecto promotor de crecimiento (PGPM) en cultivos extensivos. Impacto sobre los rendimientos, la eficiencia de uso de los nutrientes y otros caracteres de interés agronómico. Resúmenes. pp 8-9. Taller Internacional de Rizósfera, Biodiversidad y Agricultura sustentable. XXII Congreso Argentino de Microbiología.
- 38- Fundora, O y Yepis, Olga. 2000. Ahorro de fertilizantes en empresas de cultivos varios y limitación de la contaminación ambiental. XIII Forum Municipal de Ciencia y Técnica. Santa Clara, Villa Clara.

- 39- Funes, F. & Yepes, S. 1978. Discriminación de especies y variedades de gramíneas introducidas en Cuba. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 12:179.
- 40- García, L. 2003. Determinación del uso eficiente de nitrógeno en cuatro variedades de sorgo para grano en la zona del Pacífico de Nicaragua. *La Calera.* 3:36.
- 41- Gattorno, Sirley. 2008. Evaluación de la fertilidad actual del suelo Ferralítico rojo bajo condiciones de explotación intensiva en Empresas de Cultivos Varios de Villa Clara. Tesis de diploma. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- 42- Germida, J. J., Siciliano, S. D., De Freitas, J. R., and Seib, A. M. (1998). Diversity of root-associated bacteria associated with field-grown canola (*Brassica napus* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.). *FEMS (Fed. Eur. Microbiol. Soc.) Microbiol. Ecol.* 26:43-50.
- 43- Gilbert, P.M. 1999. Sorgo en nutrición animal. *ABC Rural*, 13 de enero, p. 3.
- 44- Giller, K. E., and Merckx, R. (2003). Exploring the boundaries of N₂-fixation in cereals and grasses: An hypothetical and experimental framework. *Symbiosis* 35:3-17.
- 45- Goyal, S. M.; Gerba, C. P., 1979. Comparative adsorption of human enteroviruses, simian rotovirus and selected bacteriophages to soils. *Applied Environment Microbiology* 38, 241-247.
- 46- Graveros, I.E. 2003. Cultivos sorgos graníferos. [En línea]: <http://www.producción.com.ar/2003/03ago-10.htm>. [Consulta: 21/3/08].
- 47- Hallmann, J., A. Quadts-Hallmann, W. F. Mahaffee, and J. W. Kloepper. (1997). Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol.* 43:895– 914.
- 48- Hernández, A. J. 2005. La historia de la clasificación de los suelos en Cuba. Ed. Félix Valera. La Habana, Cuba. 98 p. ISBN: 959 – 07 – 0145 – 0.
- 49- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., Rivero, L. 1999: Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Inst. Suelos, AGRINFOR, Ciudad Habana, 64p.
- 50- Hidalgo, J.C. 1997. Evaluación del control químico de cuatro malezas en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), en el valle de Zamorano. Proyecto especial del Programa de Ingenieros Agrónomos. Zamorano, Honduras. [En línea]: <http://fai.unne.edu.ar/biología/plantas/Alelopatía.htm>. [Consulta: 20/3/08].
- 51- Hurek, T., Handley, L. L., Reinhold-Hurek, B., and Piche, Y. (2002). *Azoarcus* grass endophytes contribute fixed nitrogen to the plant in an unculturable state. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 15:233-242.
- 52- Iniguez, A. L., Dong, Y., and Triplett, E. W. (2004). Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 17:1078-1085.

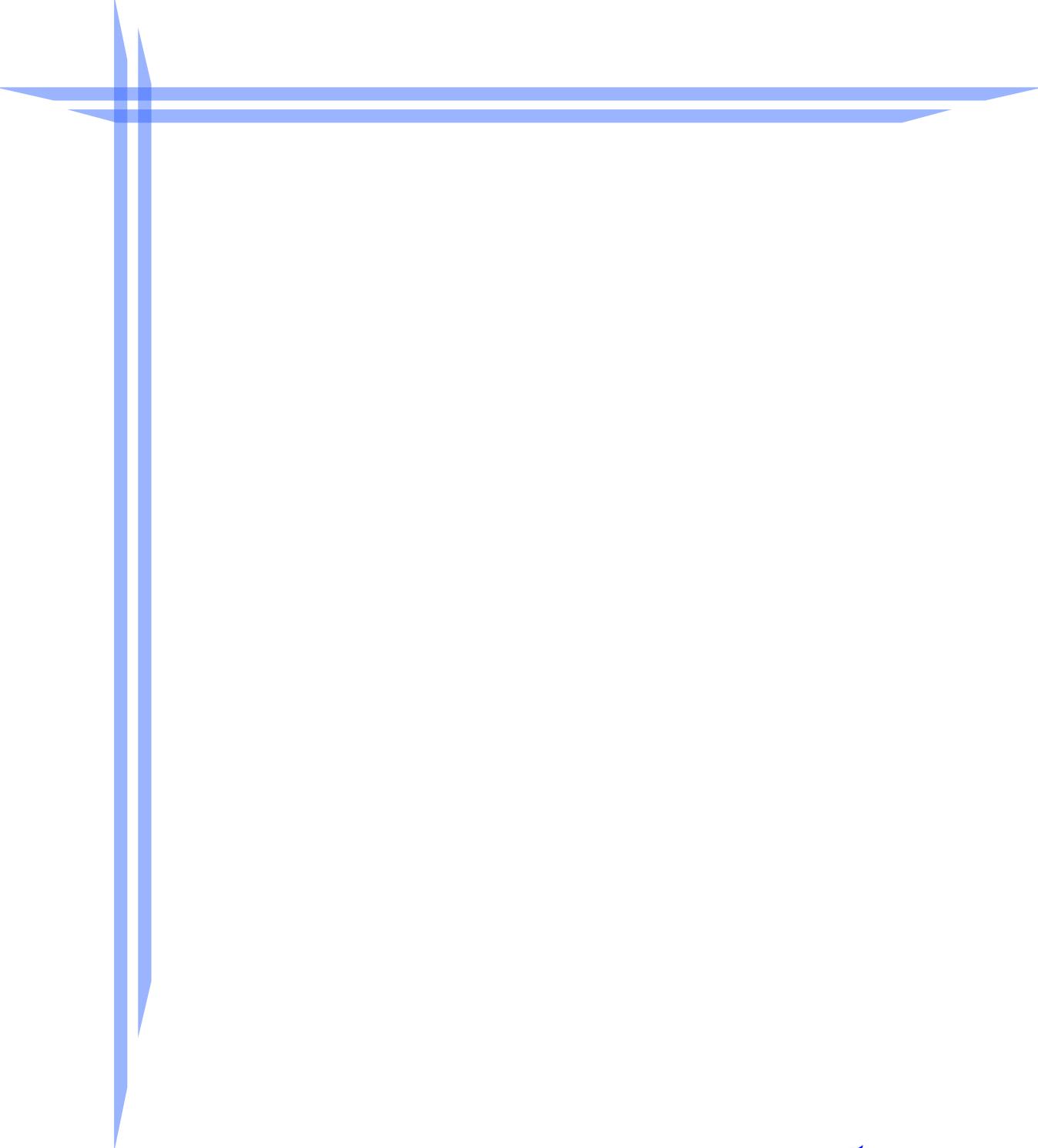
- 53- Jeewon R. y K.D. Hyde. 2007. Detection and Diversity of Fungi from Environmental Samples: Traditional Versus Molecular Approaches. En: A. Varma, R. Oelmüller (Eds.) *Advanced Techniques in Soil Microbiology* Springer-Verlag Berlin Heidelberg Soil Biology, Vol 11.
- 54- Jiménez, D. R. y Lamo de Espinosa, J. 1998. *Agricultura sostenible*. Editorial Agrofuturo. España.
- 55- Kloepper, J.W., R. Lifshitz y R.M. Zablotowicz (1989): Free-living inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* (7): 39-43.
- 56- Kobayashi, D. Y. y J. D. Palumbo (2000): Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture. En Bacon, C. W. and J. F. White (ed.), *Microbial endophytes*. Marcel Dekker, Inc. New York, N.Y. pp. 199–233.
- 57- Krieg, D.R. 2000. Cotton water relations. *Proceedings of the 2000 Cotton Research Meeting and Summaries of Cotton Research Progress*. (Ed. D.M. Oosterhuis). Agricultural Experiment Station, University of Kansas. USA. p. 7.
- 58- Lamb, T. G., D. W. Tonkyn and Kluepfel D. A. (1996). Movement of *Pseudomonas aureofaciens* from the rhizosphere to aerial plant tissue. *Can. J. Microbiol.* 42:1112–1120.
- 59- Machado, R. & Menéndez, J. 1979. Descripción de gramíneas y leguminosas. En: *Los pastos en Cuba*. Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. p. 91.
- 60- Maranville, J.W. & Madhavan, S. 2002. Physiological adaptations for nitrogen use efficiency in sorghum. *Plant and Soil.* 245:25.
- 61- Maier, A., J. Riedlinger, H. Fiedler y R. Hampp (2004): Actinomycetales bacteria from a spruce stand: characterization and effects on growth of root symbiotic and plant parasitic soil fungi dual culture. *Mycological Progress* (3): 129-136.
- 62- Mantelin, S. and Touraine, B. (2004). Plant growth promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *J. Exp. Bot.* 55(394):27-34.
- 63- Mann, L; Tollbert V.2000. Soil Sustainability in renewable biomass plantings. *Ambio* 29 (8): 492 – 498.
- 64- Martin, J. K. y Kemp, J. R. (1980). Carbon loss from roots of wheat cultivars. *Soil Biol. Biochem.* 12:551-554.
- 65- Mayea, S., M. Carone, R. Novo, I. Boado, E. Silveira, M. Soria, Y. Morales y A. Valiño (1998): *Microbiología Agropecuaria*. Tomo II. Félix Varela (Ed). La Habana, Cuba. pp 156-178.

- 66- Mirza, M. S.; Ahmad, W.; Latif, F.; Haurat, J.; Bally, R.; Normand, P. y Malik, K. A. (2001). Isolation, partial characterization, and the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micropropagated sugarcane *in vitro*. *Plant Soil* 237:47–54.
- 67- Muñiz, O. 2001. Los Sistemas Integrados de Nutrición Vegetal. Memorias.
- 68- M. D: Méndez; E. Romero; M. D. Villa roel 4 y B. Gómez. 2005. Estiércol de cerdos y Producción de lombrices de tierra y com. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Facultad de Veterinaria y Zootecnia.
- 69- Neumann, M. 2002. Resposta econômica da terminação de novilhos e confinamento, alimentados com silagens de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Ciência Rural*. 32 (5):849.
- 70- Niemeijer, D. 1998. Soil nutrient harvesting in indigenous teras water harvesting in Eastern Sudan. *Land Degradation and Development*. 9 (4):323.
- 71- Oramas, G. 1998a. Evaluación de variedades promisorias de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) de grano para consumo humano y animal. Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova», La Habana. 164 p.
- 72- Oramas, G. 2002. Obtención de variedades de sorgo (*Sorghum bicolor*) de doble propósito a través del método de selección progenie por surco. *Agrotecnia de Cuba*. 28 (1):39.
- 73- Oramas, G. 2003. Evaluación de nuevas variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de grano para consumo humano y animal. *Cultivos Tropicales*. 24 (1):73.
- 74- Oramas, E. 2010. Impacto ambiental del bambú (*Bambusa vulgaris* var. *Vulgaris*. Schard) en comparación con otras coberturas forestales sobre un suelo Pardo Ócrico sin Carbonato. Tesis presentada en opción al Título en Master en Ciencias en Agricultura sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
- 75- Ostrowski, B. 1998. Sistemas intensivos en invierno. *Mundo Lácteo*. 4 (44):148.
- 76- Okon, Y. y Vanderleyden, J. (1997). Root associated *Azospirillum* species can stimulate plants. *ASM News* 63 (7) 364-370.
- 77- Sánchez, Saray. & Hernández Marta. 1997. Efecto del follaje de *Bauhinia purpurea* como abono verde sobre la macrofauna del suelo. En Programa y Resúmenes. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. p. 16.
- 78- Pacheco, D.R. 1998. Caracterización agronómica de dieciséis maicillos mejorados (*Sorghum bicolor* L. Moench) en diferentes localidades. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura. El Zamorano, Honduras.

- 79- Pandey, R.K. 2001. Nitrogen fertilizer response and use efficiency for three cereal crops in Niger. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32:1465.
- 80- Paneque, M. y Calaña, J. 2004: Abonos orgánicos. Conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. San José de las Lajas. La Habana. INCA 54 p.
- 81- Patten CL and Glick B.R. (1996). Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Can J Microbiol* 42: 207-220.
- 82- Pérez, A.; Amado, H.; Marlen, N. y Jesús S. 2007. Sustitución de Fertilizantes Minerales por Materia Orgánica en la producción de Semillas de Rhodes callide. *Revista ACPA*, No. 2, p.18.
- 83- Pérez, A. & Hernández, A. 2009. Empleo de forrajeras proteicas y sorgo energético en la dieta porcina. Conferencia dictada en el Taller Regional sobre alimentación porcina. Matanzas, Cuba. (s.p.).
- 84- Persello-Cartieaux, F.; Nussaume, L. and Robaglia, C. (2003). Tales from the underground: molecular plant–rhizobia interactions. *Plant Cell Environ*. 26:189–199.
- 85- Pillay, V. K., and Nowak, J. (1997). Inoculum density, temperature, and genotype effects on in vitro growth promotion and epiphytic and endophytic colonization of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings inoculated with a pseudomonad bacterium. *Can. J. Microbiol*. 43:354361.
- 86- Pineda, Emma. 2002. Factores asociados con la respuesta de la caña de azúcar a los fertilizantes minerales. Tesis de doctorado. INICA. 97.
- 87- Pons, L. (2005): Explorando la capacidad del sorgo de combatir malezas. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/is/español/pr/2005/050509.es.htm> Consultado en 10-2011.
- 88- Primavesi, Ana. 1990 Manejo ecológico do solo. A. Agricultura em regioes tropicais. Sao Paulo: Livraria Novel S.A.,. p. 164-197.
- 89- Quiñones, Fernanda. 2008. Elcompostaje. Disponible en www.articulos.es [Consulta 29 de septiembre 2013].
- 90- Raaa, 2005. Red de acción en alternativas al uso de Agroquímicos. <http://www.raaa.org/ao.html>.
- 91- Reiter, B., Bürgmann, H., Burg, K., and Sessitsch, A. (2003). Endophytic *nifH* gene diversity in African sweet potato. *Can. J. Microbiol*. 49:549555.
- 92- Ribalta Q. Bárbara F., 2008. Utilización de Leucaena Leucocephala cv. Perú en la recuperación de los suelos Pardos Sialíticos Mullidos Carbonatados. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV. p 13.

- 93- Riggs, P. J., Chelius, M. K., Iniguez, A. L., Kaeppler, S. M., and Triplett, E. W. (2001). Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:829-836.
- 94- Rodríguez A., Companioni N., Peña E., Cañet F., Fresneda J., Estrada J., Ruy R., Fernández E., Vázquez L., Avilés R., Arozarena N., Dibut B., González R., Pozo JL., Martínez F. 2007. Manual Técnico para Organopónicos, Huertos Intensivos y organoponía semiprotegida. Sexta Edición, ISBN 959-246-030-2.
- 95- Rodríguez, Alianny. (2006). Efecto de la aplicación de diferentes combinaciones organo-minerales sobre la calidad del suelo pardo con carbonatos y el rendimiento del banano, cultivar FHIA-18 en un sistema extradenso. Trabajo de diploma Facultad de ciencias agropecuarias. UCLV. 61p.
- 96- Rodríguez, Alianny. (2010). Selección de indicadores de la calidad de los suelos Hidromórficos de la costa norte de Villa Clara. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Agricultura Sostenible. Mención Fitotecnia. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. UCLV. 78 p.
- 97- Roquero, C. y Porta, J. (1986) Agenda de campo para estudios del suelo. 4ta edición. Cátedra de Edafología, Universidad Politécnica de Madrid. 65p.
- 98- Rosenblueth, M., and Martínez Romero, E. (2004). *Rhizobium etli* maize populations and their competitiveness for root colonization. *Arch. Microbiol.* 181:337-344.
- 99- Sánchez, Saray.; Cairo, P.; Crespo, G.; Vargas, S.; Soca, Mildrey.; Nodal, E.; Rodríguez, Idalmis. 2008. Contribución al estudio de la fauna edáfica en el proceso de descomposición e incorporación de la materia orgánica en suelos dedicados a la ganadería. Premio Academia de Ciencias de Cuba. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey". Matanzas. Cuba.
- 100- Sánchez, M. 1998. Densidad de población óptima de sorgo enano de grano "V-3018". Producción de cultivos en condiciones tropicales. IIH «Liliana Dimitrova». La Habana, Cuba. p. 47.
- 101- Salermo, J.C. 1998. Forrajeras en su máximo esplendor. *Mundo Lácteo.* 4 (40):46.
- 102- Saucedo, O. (2005). Cultivos: sorgo granífero. UDG-110 variedad de sorgo de grano blanco con adaptación tropical. Centro Agrícola .2 mayo-agosto, 90.
- 103- Saucedo, O. 2008. Conferencias sobre el cultivo del Sorgo en Cuba. Estación experimental "Álvaro Barba". Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba.

- 104- Sessitsch, A., Howieson, J. G., Perret, X, Antoun, H., and MartínezRomero, E. (2002a). Advances in Rhizobium research. Crit. Rev. Plant Sci. 21:323-378.
- 105- Sierra, Araceli., & Ileana Fernández García. 1997. Evaluación taxonómica y ecológica de coleópteros edáficos en el cultivo de la caña de azúcar Rev. Biología 11: 113.
- 106- Smith E, Read, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. London, UK. 787 p.
- 107- Smith, W. H. (1976). Character and significance of forest tree root exudates. Ecology 57:324-331.
- 108- Suárez, Ana. 2012. Influencia de aislados bacterianos en el desarrollo del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sobre un suelo Pardo Mullido Medianamente Lavado. Tesis presentada en opción al Título en Licenciado en biología. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV.
- 109- Tan, Z., Hurek, T., and Reinhold-Hurek, B. (2003). Effect of N-fertilization, plant genotype and environmental conditions on *nifH* gene pools in roots of rice. Environ. Microbiol. 5:1009-1015.
- 110- Thompson, L. M. Y Troeh, F. R., 1988. Los suelos y su fertilidad. Revert S.A. Barcelona. España, 135-169 p.
- 111- Verma, S. C., Singh, A., Chowdhury, S. P., and Tripathi, A. K. (2004). Endophytic colonization ability of two deep-water rice endophytes, *Pantoea* sp. and *Ochrobactrum* sp. using green fluorescent protein reporter. Biotechnol. Lett. 26:425-429.
- 112- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045 p.
- 113- Wikipedia. 2007. La enciclopedia libre. Esbozo de botánica. [En línea]: <http://es.wikipedia.org/wiki/CategorA-a:Wikipedia:Esbozo-botAnica>. [Consulta: el 5/3/08].
- 114- Yera Y. 2012. Evaluación del impacto ambiental de *Bambusa vulgaris* Schrad en un suelo Pardo mullido carbonatado. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Agricultura Sostenible. Mención Fitotecnia. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS. UCLV. 90 pp.
- 115- Zinniel, D. K., Lambrecht, P., Harris, N. B., Feng, Z., Kuczmarski, D., Higley, P., Ishimaru, C. A., Arunakumari, A., Barletta, R. G, and Vidaver, A. K. (2002). Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. Appl. Environ. Microbiol. 68:2198-2208.



Anexos

8. Anexos

Anexo 1. Matriz del experimento en condiciones semicontroladas

	AP	LR	PFF	PSF	PFR	PSR	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	MO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Permeabilidad	AE	FE
AP														
LR	0,0003													
PFF	0,6975**	-0,0934												
PSF	0,5583**	0,1340	0,7981**											
PFR	-0,1694	0,3519*	0,0381	0,3098										
PSR	-0,0801	0,2594	0,2343	0,3624*	0,8493**									
pH (H ₂ O)	-0,2783	0,3411	-0,2488	-0,2887	-0,0615	-0,0365								
pH (KCl)	- 0,5454**	0,0906	- 0,5550**	-0,3422	0,4492**	0,4148*	0,4675**							
MO %	0,2361	0,5862**	0,0861	0,0294	0,0078	0,0348	0,1711	-0,2165						
P ₂ O ₅	-0,3512*	0,2105	-0,3543*	-0,2515	0,2403	0,2252	-0,0529	0,2750	0,2025					
K ₂ O	- 0,5870**	0,2846	- 0,5904**	- 0,4405*	0,3354	0,1608	0,5690**	0,6415**	0,0372	0,4059*				
Permeabilidad	-0,0365	0,3998*	-0,0205	-0,1618	0,1972	0,2779	0,7286**	0,3258	0,4380*	0,1599	0,4424*			
AE	0,3336	0,2543	0,3043	0,1126	0,0268	0,0773	0,5115**	-0,0967	0,5543**	-0,0279	0,1494	0,8191**		
FE	0,4233*	0,1005	0,5067**	0,3970*	0,1096	0,0734	0,3296	-0,1824	0,2591	-0,1305	0,0139	0,5861**	0,8189**	

Leyenda: * Correlación significativa para Valor – $P \leq 0.05$. ** Correlación significativa para Valor – $P \leq 0.01$.

Anexo 2. Categorías de evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos

Tabla 1. Evaluación del pH del suelo

<i>pH (KCl)</i>	<i>pH (H₂O)</i>	<i>Categoría</i>
< 3.5	< 5.0	Muy ácido
3.5 – 4.5	5.0 – 5.5	Ácido
4.6 – 5.5	5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
5.6 – 6.0	6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.1 – 7.0	6.6 – 7.5	Neutro
7.1 – 8.0	7.6 – 8.0	Ligeramente alcalino
8.1 – 8.5	8.1 – 8.5	Moderadamente alcalino
> 8.5	> 8.5	Alcalino

Fuente: MINAGRI, (1984)

Tabla 2. Disponibilidad de los elementos minerales según el pH del suelo

<i>Elemento mineral</i>	<i>Valor del pH al que la Disponibilidad es:</i>		
	<i>Óptima</i>	<i>Regular</i>	<i>Mala</i>
<i>N</i>	6,0 – 8,0	5,5 – 6,0 y 8,0 – 9,0	< 5,5 y > 9,0
<i>P</i>	6,5 – 7,5 y > 8,5	6,0 – 6,5 y 7,5 – 8,3	< 6 y 8 – 8,6
<i>K</i>	> 6,0	5,0 – 6,0	< 5,0
<i>S</i>	> 6,0	5,0 – 5,5	< 5,0
<i>Ca</i>	7,0 – 8,5	5,5 – 6,5 y 9,0 – 10,0	< 5,5 y > 9,5
<i>Mg</i>	> 7,0 – 8,5	5,5 – 6,5 y 9,0 – 10,0	< 5,5 y > 9,5
<i>Fe</i>	< 6,0	6 – 7,5	> 8,0
<i>Mn</i>	5,0 – 6,5	4,5 – 5,0 y 6,5 – 7,5	< 4,5 y > 7,5
<i>Cu</i>	5,0 – 7,0	4,5 – 5,0 y 7,0 – 8,0	< 4,5 y > 8,0
<i>Zn</i>	5,0 – 7,0	4,5 – 5,0 y 7,0 – 8,0	< 4,5 y > 8,0
<i>B</i>	5,0 – 7,0 y > 9,0	4,5 – 5,0 y 7,0 – 8,0	< 4,5 y 8,0 – 8,5
<i>Mo</i>	> 5,0	4,5 – 5,0	< 4,5

Fuente: Roquero y Porta, (1986)

Tabla 3. Evaluación de la materia orgánica del suelo

<i>% de Materia Orgánica</i>	<i>Categorías</i>
< 2.0	Bajo
2.0 – 4.0	Mediano
4.1 – 6.0	Alto
> 6.0	Muy alto

Fuente: MINAGRI, (1984)

Tabla 4. Evaluación del Fósforo y Potasio, por método de Oniani.

<i>P₂O₅ y K₂O (mg 100 g⁻¹) por el método de Oniani para suelos no cañeros, sólo para otros cultivos</i>		
<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>Categoría</i>
< 6	< 7	Bajo
6 – 11	7 – 14	Mediano
11 – 15	14 – 20	Alto
> 15	> 20	Muy alto
Fuente: Fundora y Yepis, (2000)		

Tabla 5. Evaluación de Acidez hidrolítica, Acidez de cambio y Aluminio de cambio.

<i>Acidez hidrolítica (Y₁) meq 100g⁻¹</i>	<i>Categoría</i>	<i>Acidez de cambio (Y₂) meq 100g⁻¹</i>	<i>Categoría</i>	<i>Al de cambio (Y₃) meq 100g⁻¹</i>	<i>Categoría</i>
< 1.0	Baja	< 1.0	Baja	< 1.0	Baja
1.0 – 2.0	Media	1.0 – 2.0	Media	1.0 – 2.0	Media
2.0 – 3.99	Alta	> 2.0	Alta	> 2.0	Alta
> 3.99	Muy alta				

Tabla 6. Evaluación del factor de estructura.

<i>Factor de Estructura (%)</i>	<i>Categoría</i>
80 – 100	Excelente
65 – 80	Bueno
55 – 65	Regular
< 55	Malo
Fuente: (Cairo, 2006)	

Tabla 7. Evaluación del índice de permeabilidad de los suelos.

<i>Permeabilidad (Log 10 K)</i>	<i>Categoría</i>
2.00 – 2.50	Excelente
1.50 – 2.00	Adecuado
1.00 – 1.50	Regular
< 1.00	Malo
Fuente: Cairo, (2006)	

Tabla 8. Evaluación de los Agregados Estables al agua.

<i>Agregados estables en agua (%)</i>	<i>Categoría</i>
> 70	Excelente
70 – 55	Adecuado
55 – 40	Regular
< 40	Malo
Fuente: Cairo, (2006)	