



Sede Carlos Rafael Rodríguez

Trabajo de Diploma

en opción al título de Ingeniero Agrónomo.

Título: Efecto de diferentes usos de suelo sobre bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y hongos en áreas del Jardín Botánico de Cienfuegos.

Autora: Cynthia Monzón González.

Tutora: Lic. Aida Margarita Romero Jiménez

Curso: 2016-2017

Año 59 de la Revolución

Pensamiento

LOS MICROBIOS SERAN ENCARGADOS DE LA VIDA
DEL PLANETA. ASI COMO SU DESTRUCCION.
SIEMPRE Y CUANDO
EL HOMBRE LOS SEPA UTILIZAR....

Louis Pasteur

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres por haberme guiado por un camino correcto, dándome todo su amor, apoyo y comprensión a lo largo de todos estos años de estudios, por ver su sueño realizado brindándome la oportunidad de formarme profesionalmente, por eso los amo.

A mi familia por todo el apoyo que he recibido durante este periodo de formación.

Agradecimientos

Le agradezco a mis padres por la comprensión y el apoyo que me han dado siempre en la vida, por ver su sueño realizado.

A mi familia por su comprensión en estos años de estudio.

A mi tutora por su dedicación, apoyo y paciencia que ha tenido durante la realización de este trabajo. Gracias.

A todo el claustro de profesores que me formaron en estos 5 años de estudios.

A mis compañeros de aula por el tiempo que hemos pasado juntos en estos años de estudios.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar cómo influyen las propiedades físicas y químicas de los diferentes usos del suelo sobre la presencia de bacterias fijadoras nitrógeno (BFN), bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) y hongos(H) en un suelo Pardo con carbonato. La investigación se realizó en el período comprendido de 2015 -2017. Para su realización se escogieron tres usos de suelos de la Provincia de Cienfuegos, el Jardín Botánico de Cienfuegos, un área de bosque, silvopastoril y un área de cultivos varios. Se tomaron muestras de suelos en una profundidad de 0-20cm, en cinco puntos de los tres usos, para la cuantificación de (BFN), (BSF) y (H), se utilizó medio de cultivo Ashby, Pikovskaya, y Rosa bengala respectivamente, las principales propiedades químicas y físicas del suelo fueron evaluadas, para establecer su relación con el desarrollo de las bacterias. Los resultados muestran que las bacterias fijadoras de nitrógeno no presentan diferencias significativas en los tres usos de suelo, en las bacterias solubilizadoras de fósforo hubo diferencias significativas entre el bosque y las áreas silvopastoril y cultivos varios, con respecto a los hongos si hubo diferencias significativas. El análisis estadístico según la prueba de Tukey arrojó que los factores químicos estudiados como el fósforo presenta diferencias significativas en los tres usos de suelo, sin embargo, el resto de los factores presentan diferencias en el área silvopastoril y cultivos varios con respecto al bosque. Para un nivel de significancia de 0,05.

Palabras claves: bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fósforo, hongos, usos de suelo, propiedades físicas-químicas.

Abstract

The objective of the research was to determine how are the physics and chemistry properties in the different uses the soil about source the nitrogen disposed(NDS), solubility phosphorus(SPS) and funguses(F)in a dark soil whit carbonate. The research was made between 2015 to 2017 and we selected three kind of uses of soil in Cienfuegos such as The Botanical Garden, in a forester area, silvopastoril and in a various cultivation. And we took some kind of those soil in 0,20cm of deep in five points of the three uses for the quantification of the NSD, SPS and F by means of Ashby cultivation, Pikovskaya and Rosa bengala respectively. The main physics and chemistry properties were evaluated in order to keep on the relation with the source development. The results show that the nitrogen disposed source do not have main differences in the three uses of soil, in SPS had differences between the forest and the silvopastoril areas and varios cultivation. The statistical analysis related to the Tuckey test that the chemical factors studied such as phosphorus has differences in the three uses of soil however the rest of the factors has differences in the silvopastoril area and various cultivation related to the forest to a level of 0,05 significances.

Key words: source the nitrogen disposed, source solubility phosphorus, uses the soil, physics -chemistry properties.

Índice

	Pág.
Introducción	1
1-Capítulo 1: Revisión bibliográfica	6
1.1- El suelo	6
1.2- Propiedades del suelo	8
1.3- Propiedades físicas del suelo	10
1.3.1-Textura	10
1.3.2- Porosidad	12
1.3.3- Estructura	12
1.4- Composición química del suelo	13
1.4.1- Materia orgánica del suelo	13
1.4.2 – El pH en el suelo	15
1.4.3- El nitrógeno del suelo	17
1.4.4- El fósforo del suelo	18
1.5- La Microbiota del suelo	18
1.5.1- Importancia de los microorganismos en el suelo	18
1.5.2 - Principales grupos microbianos del suelo	20
1.5.2.1- Las bacterias	20
1.5.2.1.1- Bacterias fijadoras de nitrógeno	21
1.5.2.1.2- Bacterias solubilizadoras de fósforo	22
1.5.2.1.3- Hongos del suelo	23
1.6- Factores que afectan a los microorganismos en el suelo	24
1.7- Relación entre las propiedades del suelo y los procesos ecosistémicos.	26

2- Capítulo 2: Materiales y Métodos	29
2.1- Caracterización del área objeto de estudio (bosque natural, silvopastoril y cultivos varios).	30
2.1.1- Caracterización de la vegetación de las áreas de estudio	32
2.1.2- Caracterización del suelo de las áreas de estudio	32
2.1.2.1- Caracterización Física-Química	32
2.2-Cuantificación de las bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias fijadoras nitrógeno y hongos en áreas con diferentes usos de suelo.	33
2.2.1-Colección de muestra de suelo para la cuantificación de los microorganismos.	33
2.2.2-Cuantificación de Bacterias Fijadores de Nitrógeno	34
2.2.3- Cuantificación de Bacterias Solubilizadoras de Fósforo.	34
2.2.4- Cuantificación de hongos.	34
2.3-Relacionar la densidad de las bacterias solubilizadoras de fósforo, las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos.	35
3-Capítulo 3: Resultado y Discusión	36
3.1- Caracterización del área bosque natural, silvopastoril y cultivos varios del Jardín Botánico de Cienfuegos.	36
3.1.1- Caracterización de la vegetación de las áreas de estudio.	36
3.1.2- Características del suelo de las áreas de estudio.	40
3.1.2.1- Características de las Propiedades Físicas.	40
3.1.3.3- Características de las Propiedades Químicas	42
3.2- Cuantificación de las bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, y hongos.	43
3.2.1-Cuantificación de las bacterias fijadoras de nitrógeno.	43
3.2.2- Cuantificación de las bacterias solubilizadoras de fósforo	44
3.2.3- Cuantificación de los hongos.	45

3.3- Establecer la relación entre densidad de las bacterias fijadoras de nitrógeno, las bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos.	47
4- Conclusiones.	53
5- Recomendaciones	54
6- Bibiografía	55

Introducción

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la producción de alimentos (Martin y Adad, 2006).

En la actualidad la forma más común de incorporar nutrientes al suelo ha sido mediante el uso de fertilizantes químicos, cuyo uso indiscriminado ha alterado significativamente los constituyentes orgánicos y vivos del suelo y con ello el equilibrio ecológico; debido a esto se han buscado alternativas agrícolas que favorezcan el desarrollo de suelos fértiles llevando a una sostenibilidad agrícola, que represente beneficios para el hombre y para el balance ecológico (Adesemoye *et al.*, 2009).

Las propiedades químicas, físicas, biológicas y climáticas que actúan normalmente en interacción, son las que identifican la fertilidad de los suelos. Entre estos factores, quizás los componentes biológicos sean los últimos que se han tomado en cuenta en investigación y producción de los cultivos, además hoy se acepta que la actividad de los microorganismos no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales como los agro-ecosistemas (Trasar *et al.*, 2000).

Los microorganismos desarrollan en el suelo actividades relacionadas con procesos de descomposición, mineralización de complejos orgánicos y translocación de bioproductos y elementos minerales que conllevan al desplazamiento de nutrientes en el ecosistema suelo-planta. Dentro de la gran diversidad de microorganismos presentes en el suelo llaman la atención los que se encuentran vinculados con la estimulación de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, ya que a través de estos se genera la movilización de elementos como carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, calcio, sodio, azufre, fósforo y potasio entre los seres vivos y la atmósfera o la biomasa (Vessey, 2003).

Existen estudios que muestran que las Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN) se desarrollan mejor en los usos pasto, no siendo así para Bacterias

Solubilizadoras de Fósforo (BSF) donde el mayor número de se observa en aquellos manejos con mayor contenido de fósforo (Padrón *et al.*, 2012)

Los microorganismos fijadores de Nitrógeno son capaces de catalizar el triple enlace de Nitrógeno y activarlo para que se combine con otros elementos químicos, como el hidrógeno o el oxígeno por medio de la enzima nitrogenasa en sus sistemas metabólicos. Algunos tipos de algas y bacterias pueden realizar este proceso biológico, entre los cuales cabe destacar a los Actinomicetos, bacterias filamentosas ampliamente distribuidas en ecosistemas naturales (Cerdeira, 2008).

El fósforo (P) es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de todos los seres vivos, al formar parte de la composición de las moléculas orgánicas esenciales para la vida. Las mayores reservas en el suelo son las rocas y los depósitos como las apatitas primarias y otros minerales formados durante otras eras geológicas (Odum *et al.*, 2005) que se encuentran formando parte de un estrato rocoso cuya principal característica es la insolubilidad. La disponibilidad de P para las plantas está relacionada con su concentración en la disolución de suelo (Kauwenbergh, 2010). La mayoría de los suelos tropicales y subtropicales son deficientes en P biodisponible por lo que éste elemento debe ingresarse al agroecosistema como fertilizante. Sin embargo, este no es un recurso renovable y las reservas mundiales se agotan rápidamente. Se estima que las reservas actuales de P disminuirán a la mitad entre los años 2040 y 2060, lo que, unido al hecho de que los precios de los fertilizantes fosfóricos se incrementan constantemente, hace necesaria la búsqueda de estrategias sostenibles de fertilización (Lambers *et al.*, 2006).

Bajo condiciones deficientes de P, las plantas aumentan el crecimiento de las raíces o los pelos radicales o su densidad, con el objetivo de lograr la exploración de una mayor superficie y volumen de suelo (Gahoonia *et al.*, 2001). Tanto las plantas como los microorganismos pueden incrementar la solubilidad del P inorgánico (Pi) pobremente soluble a través de la liberación de protones, iones OH⁻ o CO₂ y aniones de ácidos orgánicos como citrato, malato y oxalato (Jones, 1998) y pueden mineralizar el P orgánico (Po) por la liberación de varias enzimas fosfatasas (Zhang *et al.*, 2010).

Muchos microorganismos del suelo tienen la capacidad de transformar el P insoluble en formas asimilables para las plantas, con lo que contribuye a su disponibilidad en el suelo, entre ellos se destacan las bacterias solubilizadoras de fosfatos (BSF) que constituyen una excelente alternativa para reducir la cantidad de fertilizantes aplicados a diferentes cultivos (Kaur *et al.*, 2014)

Estas bacterias solubilizan tanto el P_o , como el P_i (Park *et al.*, 2014) e incluyen una amplia cantidad y diversidad de géneros. Sin embargo, se requieren estudios que profundicen en los que tienen mayor potencial de empleo para realizar procesos de solubilización y en sus mecanismos de acción.

De otra parte, los hongos son otro grupo de microorganismos importante del suelo. El rol primario de los hongos es descomponer la materia orgánica a través de la producción de una amplia gama de enzimas extracelulares (Bardgett, 1993).

Una familia de hongos importantes lo constituyen las micorrizas, son hongos que forman asociaciones mutualistas con las raíces de las plantas, proveyendo nutrientes limitantes como fósforo (P) a la planta y recibiendo a cambio compuestos de carbono (C) y un espacio libre de competidores (Simard, 2004).

La comparación en cuanto al número y actividad de las bacterias en un ambiente natural, y en un ambiente con elevada actividad antropogénica, están afectados por el hábitat, las prácticas culturales, las condiciones ambientales. La materia orgánica es uno de los factores que más inciden en la distribución de las bacterias del suelo en su gran mayoría son bacterias heterótrofas (Frioni, 1999).

Se han realizado muchos estudios en el mundo acerca la presencia de microorganismos en el suelo, esencialmente con el objetivo de seleccionar microorganismos potenciales que ayuden a las plantas a adquirir los nutrientes.

En Argentina por ejemplo son innumerables las investigaciones en este sentido, Di Ciocco *et al.*, 2014, realizó un estudio sobre la Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas, y encontró que los distintos usos de un mismo suelo presentaron diferencias en la actividad microbiológica.

Por otro lado, Mahecha (2011) en Bogotá realizó un estudio, para determinar la influencia de plantaciones forestales *Pinus patula* y cultivos de cebolla *Allium fistulosum* sobre la densidad de las poblaciones y actividad de las bacterias fijadoras libres de nitrógeno y establecer su relación con las características fisicoquímicas del suelo teniendo como control el uso de suelo del bosque subandino.

Actualmente se encuentran pocas referencias bibliográficas de estudios realizados sobre la densidad de BFN, BSF en tres usos de suelo diferentes. Por lo que hay un gran vacío científico sobre el efecto de estos usos de suelo sobre la densidad y actividad bacteriana fijadora libre de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo.

En Cuba se han realizado también estudios con estos fines y además en la selección de cepas con altas posibilidades para fabricar Biofertilizantes.

Pero son escasos los estudios realizados con el fin de conocer cómo afecta los diferentes parámetros físicos y químico en la vida de los microorganismos en el suelo, y menos a su vez estos últimos con el uso que se le dé a la tierra.

En Cuba, algunos pocos estudios se han acercado a esta investigación solo que enfocan el estudio de la mesofauna y su relación con el uso y manejo agrícola, la mayor parte de estos se han desarrollado sobre suelos ferralíticos (Cabrera et al., 2011; Socarrás y Robaina, 2011).

Por estas razones es que en este trabajo se pretende dar una aproximación al estudio de cómo influye algunas propiedades físicas y químicas del suelo en la presencia de ciertos grupos de microorganismos.

Problema Científico

¿Cómo influyen las propiedades físicas y químicas en un suelo Pardo con Carbonato con diferentes usos sobre la presencia de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN), Bacterias Solubilizadora de Fósforo (BSF) y hongos?

Hipótesis

Determinando las propiedades físicas y químicas de un suelo Pardo con Carbonato con diferentes usos de suelo nos permitirá conocer la dinámica de Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN) y Bacterias Solubilizadora de Fósforo (BSF) y hongos.

Objetivo General

Determinar cómo influyen las propiedades físicas y químicas de tres usos de suelo sobre la presencia de bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias fijadoras nitrógeno y hongos en un suelo Pardo con carbonato.

Objetivo específico

Caracterizar el área objeto de estudio (bosque natural, silvopastoril y cultivos varios).

Cuantificar las bacterias fijadoras nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y hongos en áreas con diferentes usos de suelo.

Establecer la relación entre densidad de las bacterias solubilizadoras de fósforo, las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos.

Capítulo 1

1-Revisión Bibliográfica

1.1- El suelo

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se les dé a los suelos (Martin y Adad, 2006).

Sin embargo, Atlas y Bartha, (2002) y (Nannipieri *et al.*, 2003), definen el suelo como "un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos".

Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo, deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu, 2007).

Por su parte, los cambios biológicos son realizados por la comunidad que habita en el suelo: flora (plantas), macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), microfauna (protozoos y algunos nemátodos) y microbiota (bacterias, actinomicetos, hongos y algas), y el 80-90% de los procesos son reacciones mediadas por la microbiota (Nannipieri *et al.*, 2003); (Porta *et al.*, 2003). Estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO₂ en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los

elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Porta *et al.*, 2003).

El suelo ya no es un recurso renovable y, además de producir, debe descomponer la materia orgánica y al hacer esto reciclar nutrientes, renovándose a sí mismo (Soto, 2006).

La definición anterior excluye otras propiedades que influyen, en gran medida, en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que muchos autores la consideran incompleta o limitada; por ejemplo, Pieri (1989) y Etchevers (1999) plantearon que la fertilidad del suelo es un concepto mucho más abarcador, que debe integrar los atributos físicos, químicos y biológicos.

Los tres atributos tienen una estrecha relación entre sí y participan de manera activa en la producción y la estabilidad de los agroecosistemas. Por ejemplo, los macroinvertebrados del suelo intervienen en los procesos de infiltración, aireación e incorporación de la materia orgánica en el suelo (Huerta *et al.*, 2008); y los microorganismos, como las bacterias, los hongos y los protozoos, los cuales pueden denominarse ingenieros químicos del suelo, son los responsables de la descomposición de la materia orgánica y de hacer disponibles los nutrientes para las plantas, los animales y los humanos; además tienen gran importancia en la formación del humus (Turbé *et al.*, 2010). En este sentido, Cairo y Herrera (1994) comentaron que el incremento de la materia orgánica en 1% incrementa en 2 cmol.kg^{-1} la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Por tanto, las propiedades biológicas tienen una estrecha relación con las propiedades físicas, como la agregación, y con las químicas, como la capacidad de intercambio iónico y la disponibilidad de nutrientes, lo cual determina que un suelo fértil sea el que conserve las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables, mientras suministra adecuadamente el agua y los nutrientes, y provee de sostén mecánico a las plantas (Etchevers, 1999).

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa, es necesario basarse en indicadores físicos, químicos, biológicos,

productivos y sociales para determinar la calidad y/o la salud del suelo, (Doran y Parkin, 1994); (Ramírez, 2004).

1.2- Propiedades del suelo

Existen propiedades que describen a los suelos frecuentemente y que se interrelacionan determinando las características del mismo del mismo, estas propiedades son físicas, químicas y biológicas, las cuales influyen de diversas maneras los procesos que se llevan a cabo en el suelo.

Usualmente es difícil separar las funciones del suelo en funciones químicas, físicas y biológicas debido a que estos procesos son normalmente dinámicos e interactivos y cualquier propiedad del suelo puede ser relevante para muchos atributos o funciones del suelo simultáneamente (Paul, 2007).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas, que caracterizan al suelo; por ejemplo, la composición química y la estructura física del suelo están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo en que ha actuado el interperismo (desintegración por agentes atmosféricos), por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Sposito, 1989), citado por (Volke *et al.*, 2005). Entre estos factores, quizás los componentes biológicos sean los últimos que se han tomado en cuenta en investigación y producción de los cultivos, además hoy se acepta que la actividad de los microorganismos no solo es un factor clave en la fertilidad del suelo, sino que también lo es en la estabilidad y funcionamiento de ecosistemas naturales como los agroecosistemas (Trasar *et al.*, 2000).

Por lo que, además de los indicadores físicos y químicos, la actividad biológica del suelo es de importancia capital en el mantenimiento de la fertilidad del hábitat terrestre y consecuentemente del funcionamiento de los ecosistemas forestales y agrícolas (Knoepp *et al.*, 2000) citado por (Rubio *et al.*, 2012).

Sin embargo, el enfoque biológico debido a sus complejidades, no ha sido ampliamente abordado en las investigaciones relacionadas con la calidad del suelo y sus resultados han sido muy variables teniendo en cuenta diferentes sistemas agrícolas de producción (Zabala y Gómez, 2010).

En la tabla.1 se mencionan algunos de los componentes de cada una de las propiedades.

Tabla.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Físicas	Químicas	Biológicas
-Densidad del suelo -Textura -Porosidad -Estructura -Velocidad de infiltración de agua -Capacidad de retención del agua -Estabilidad de agregados	-pH -Conductividad eléctrica -Capacidad de intercambio catiónico -Materia orgánica -Nitrógeno disponible -Potasio intercambiable -Calcio Intercambiable	-Población microbiana -Lombrices -Enzimas -Mesofauna

El comportamiento de un suelo viene reflejado por sus propiedades:

Los suelos desarrollan capas (llamadas horizontes) de distintas características físicas y químicas a diversas profundidades bajo la superficie.

- **Propiedades físicas del suelo:** están condicionadas por la masa total del suelo y reflejan su comportamiento físico. Son aquellas que están relacionadas con la organización estructural de un suelo, que son utilizadas en su descripción o determinadas en el laboratorio y que equivalen a su arquitectura (Pinot, 2000).

- **Propiedades físico químicas:** muestran los fenómenos relacionados con la superficie de las partículas sólidas y de la interfase sólido, líquido.

- **Propiedades químicas:** son las que dependen de la parte más íntima del suelo como es su propia composición química.

1.3- Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo pueden ser estáticas en el tiempo o, dinámicas en escalas de tiempo variables. Algunas son resistentes a las prácticas de manejo, mientras que otras cambian fácilmente tanto de forma positiva como negativa. Algunas pueden recuperarse mientras que otros cambios son irreversibles (Schoenholtz *et al.*,2001). Estos factores determinan entonces en qué medida cada propiedad del suelo puede proveer información acerca de los procesos y funciones del suelo.

Por otra parte, también determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza del sostenimiento, la facilidad para la penetración de raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Alzate *et al.*,2014).

La textura y la profundidad del suelo son propiedades que pueden cambiar poco a lo largo del tiempo en un determinado suelo, mientras que la densidad aparente varía entre suelos de diferentes textura, estructura y contenido de materia orgánica. La densidad aparente también influencia otras propiedades relacionadas con la disponibilidad hídrica y de oxígeno (Manrique, 1991; Schoenholtz *et al.*, 2001).

Siavosh *et al.*, 1999 observaron al comparar algunas variables físicas del suelo que los valores de la porosidad y compactación en un terreno de silvopastoreo, que la mayor compactación y la menor cantidad de espacios porosos se encontraron en el potrero, así como también en la evaluación de las variables biológicas, la macrofauna fue menor en esta área.

1.3.1-Textura

La textura representa el porcentaje en el que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla; tal como muestra la tabla 2. Se dice que el suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Tabla.2. Clasificación de las partículas del suelo. Tomado de (Fassbender y Bornemisza, 1987).

	Sistema del Depto. de Agricultura de EE.UU.	Sistema Internacional
Fracción del Suelo	Diámetros límites en mm.	Diámetros límites en mm.
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00	
Arena gruesa	1.00 - 0.50	2.00 - 0.20
Arena Media	0.50 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.002
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002	Menos de 0.002

Esta propiedad es muy importante porque es relativamente estable, cambia muy poco con el tiempo e influye en el uso de suelo, principalmente en:

- a.- Movimiento de agua y aire
- b.- Manejo (preparación de suelo, retención de agua, frecuencia de irrigación)
- c- Fertilización (contenido de Aluminio intercambiable y bases)
- d.- Determinar la génesis del suelo (horizonte argílico)

Las arenas tienen mayor tamaño y por lo tanto un área (superficie) muy baja. Los limos son de menor tamaño que las arenas y tienen más superficie que éstas. Las arcillas son los separados de menor tamaño y por eso son los que tienen mayor superficie. Al incrementarse las arcillas se aumentan el área superficial, el almacenamiento de agua, el calor de humedecimiento, la plasticidad, la dilatación y encogimiento y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Las arenas, por ser más gruesas, tienen menos superficie y retención de agua y por lo tanto hay mayor aireación, conductividad hidráulica, infiltración y penetración de raíces.

La textura influye en la infiltración, así como también en el estado de humedad del suelo, la estructura, la formación de costras y capas impermeables.

1.3.2- Porosidad

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por lo tanto son responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo, además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo. (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Cuanto mayor es el tamaño de partícula de los materiales granulares, mayores son los huecos que quedan entre las partículas y, por tanto, la porosidad o porcentaje de volumen de poros del material. En un litro de arena, el volumen total de poros o huecos entre partículas (la porosidad) es muy superior al que posee un litro de arcilla. Pero es suficiente la presencia de una pequeña cantidad de arcilla para que la porosidad de la arena y el tamaño de los poros disminuyan de manera importante, a la vez que aumenta la retención de agua y se reduce la aireación (Ansorena, 1994).

1.3.3- Estructura

Se le define como el arreglo de las partículas sobre el suelo. Se deben entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arcilla, limo y arena), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas, por lo tanto, "partícula" designa toda una unidad componente del suelo, ya sea primaria o secundaria. (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La estructura del suelo es una de sus principales propiedades, ya que el arreglo que presente la fase sólida está determinando el espacio que queda disponible para las otras dos fases de éste: la líquida y la gaseosa; puede decirse que esta propiedad es la que controla las interrelaciones entre las diferentes fases físicas del suelo y la dinámica de líquidos y gases en él, ya que tiene una influencia directa en propiedades como porosidad, densidad aparente, régimen hídrico, régimen térmico, permeabilidad, aireación, distribución de la materia orgánica, entre otras; por lo anterior, no es casual que

se estime la degradación de un suelo de acuerdo con el grado de deterioro de su estructura (Jaramillo, 2002).

Según plantea Jaramillo (2002), la estructura puede mitigar los efectos nocivos que puede tener la textura en el medio físico del suelo; así, por ejemplo, un suelo bien estructurado puede reducir, y hasta eliminar, los problemas de mal drenaje, baja permeabilidad y poca aireación inducidos por el empaquetamiento fuertemente ajustado de los separados que se presenta en un suelo de textura fina Anónimo (2009).

1.4- Composición química del suelo

La química de suelos puede considerarse como una parte elemental de las ciencias del suelo. Con base en la información sobre la composición, las propiedades y las reacciones químicas que ocurren en los suelos, se pueden aclarar problemas relacionados con la fertilidad y la nutrición vegetal; los resultados de los análisis químicos permiten formular las recomendaciones de fertilización adecuadas, clasificar los suelos en sus diferentes grupos y servir de base para la planificación del desarrollo agrícola, ganadero y forestal (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El estudio de las fracciones coloidales, inorgánicas, orgánicas o mixtas, asiento de cambios muy variados y responsables del funcionamiento normal del suelo, es objeto de atención de gran número de investigadores; y así, los procesos de adsorción, intercambio iónico y quelación, constituyen temas de gran importancia investigados ampliamente en los últimos años. (Navarro y Navarro, 2003).

1.4.1- Materia orgánica del suelo

En general, la fracción orgánica del suelo tiene un papel importante: regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de aproximadamente todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo las de la microflora, las de la fauna y hasta las del sistema de raíces de plantas superiores.

Fassbender y Bornemisza, 1987 comentan que entre los procesos químicos de importancia en los que interviene la materia orgánica, estos son:

- El suministro de elementos nutritivos por la mineralización, en particular la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponibles para las plantas.
- La estabilización de la acidez del suelo; la materia orgánica interviene por su poder amortiguador.
- La capacidad de cambio catiónico de los suelos.
- La capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan nitratos, fosfatos y sulfatos.
- La regularización de los niveles de disponibilidad de nutrientes principales y de elementos menores mediante la formación de sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, no iónicos (complejos internos), con cationes de valencia variable. Estas sustancias son llamadas quelatos, importantes en los suelos edafogénicos.
- La volatilización del azufre y del nitrógeno de los suelos, sobre todo los procedentes de la misma materia orgánica que se descompone fácilmente.
- Los fenómenos de adsorción, entre los cuales es de particular importancia la inactivación de plaguicidas.
- La materia orgánica también ayuda al uso más eficiente del agua, lo que se debe a una serie de fenómenos ante la presencia de la materia orgánica, sobre todo en suelos de textura gruesa.

La biota del suelo utiliza la energía capturada por la vegetación, es utilizada para una serie de funciones esenciales que incluyen la descomposición, el reciclaje de nutrientes, la síntesis y la mineralización de la materia orgánica, la modificación de la estructura del suelo, la regulación de la composición atmosférica y el control biológico de las plagas y enfermedades del suelo, (Palm *et al.*, 2001).

A pesar de la pequeña parte que representa de la materia orgánica del suelo, la biomasa microbiana participa de forma muy activa en la descomposición de la materia orgánica muerta que ingresa al suelo en forma de hojarasca o restos

de animales o plantas, y, por otro lado, es una fuente de nutrientes (N, P y S) para las plantas con una alta tasa de recambio (flujo de elementos). Por lo cual, ha sido relacionado con los procesos de mineralización de la materia orgánica. Además, juega un papel fundamental en la formación de la estructura del suelo, así como en su estabilización y se puede usar como un indicador ecológico sensible a los cambios ambientales. (Acosta y Paolini, 2006). Así, su determinación constituye uno de los métodos más interesantes propuestos en los últimos años para evaluar la fracción viva de la microflora del suelo y refleja variaciones debidas a prácticas de manejo, uso de pesticidas. (Frioni, 1999).

1.4.2 – El pH en el suelo

De forma aproximada, el suelo puede clasificarse según el valor de su pH (Figura 1).

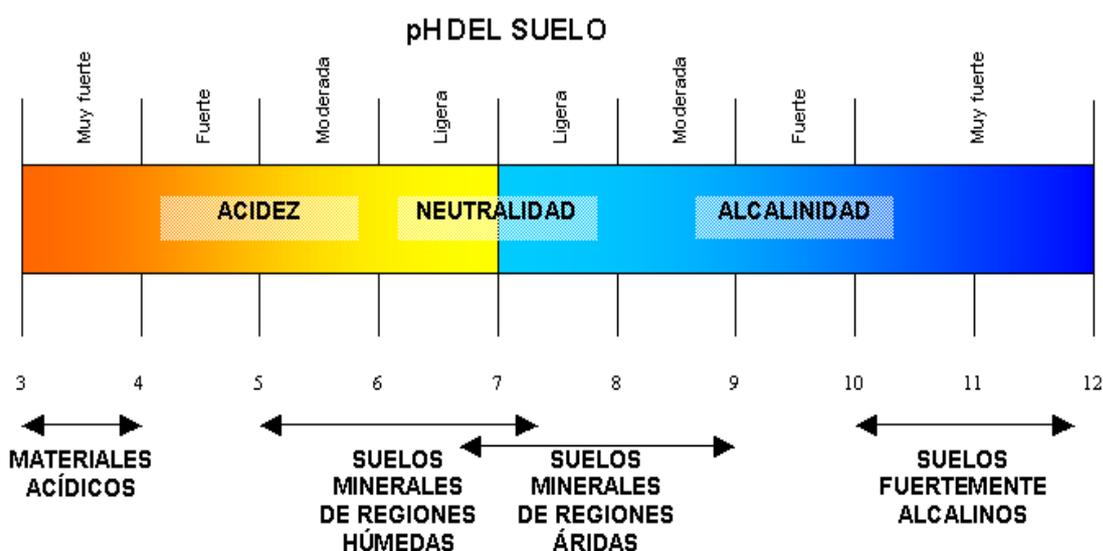


Figura 1. Escala de pH del suelo. (Fuente: Manual de Edafología, Jordan, 2005)

La reacción del suelo hace referencia a su grado de acidez o basicidad, y generalmente se expresa por medio del pH. La reacción del suelo es un concepto que se usa frecuentemente en lugar de pH, indicando que el suelo es un sistema que depende de varios subsistemas que interaccionan entre sí, y no depende sólo del valor de la acidez (Jordan, 2005).

El pH del suelo afecta a diversas propiedades físicas, químicas y biológicas:

1) Propiedades físicas:

- a. Dispersión / floculación de los coloides.
- b. Estructura.
- c. Porosidad.
- d. Conductividad hidráulica.
- e. Régimen de humedad y temperatura.

2) Propiedades químicas:

- a. Meteorización química.
- b. Movilidad de elementos tóxicos como Al, Mn y metales pesados.
- c. Disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, Mb o P.
- d. Descomposición de la materia orgánica y mineralización del nitrógeno.
- e. Adsorción de aniones como fosfatos, sulfatos, cloruros.
- f. Hidromorfía.
- g. Alteración de los minerales de la arcilla.

3) Propiedades biológicas afectadas:

- a. Relaciones bacterias / hongos.
- b. Población bacteriana.
- c. Humificación.
- d. Fijación de nitrógeno.
- e. Movilidad y absorción de nutrientes.

Según Jordan (2005) los suelos excesivamente ácidos suelen poseer una estructura poco desarrollada y una baja porosidad, lo que origina una serie de consecuencias importantes, como la mala aireación, la dificultad del laboreo, un reducido desarrollo radicular en las plantas, la baja permeabilidad del suelo, una mayor erodibilidad del suelo. Estos efectos no se deben directamente a la fuerte presencia de protones o de aluminio en el suelo, sino a la falta de

cationes Ca^{2+} , causa de la floculación de las arcillas, así como a la mala calidad de la materia orgánica humificada.

Por otra parte, el mismo autor plantea que el pH del suelo afecta a la nutrición mineral de las plantas, ya que existe una fuerte relación entre la acidez y la solubilidad de los nutrientes. Así mismo también apunta que en los suelos ácidos se observa una ralentización de la actividad biológica. La acidez del suelo afecta negativamente a la distribución de la fauna edáfica (como las lombrices) o la biomasa bacteriana. Los procesos microbianos como la nitrificación (NH_4^+ NO_3^-) o la fijación de nitrógeno atmosférico son inapreciables por debajo de pH 4.5, y muestran una velocidad óptima a pH 6-6.5.

Sin embargo, en suelos neutros o ligeramente básicos, el número de microorganismos es superior, siendo más activos cuando aumenta la caliza activa del suelo. La mineralización se lleva a cabo correctamente.

Si el pH del suelo es demasiado elevado, de nuevo los procesos microbianos se ven afectados. Así, la nitrificación es prácticamente inexistente a pH 9.

Los efectos del pH sobre la actividad microbiana del suelo y sobre la solubilidad de los nutrientes o los elementos fitotóxicos tiene grandes consecuencias sobre el crecimiento vegetal, por lo cual se puede delimitar un pH óptimo para cada especie cultivada o natural.

La reacción del suelo condiciona de forma decisiva no sólo la vida de los microorganismos y los importantes procesos en que ellos intervienen, sino también la mayor o menor asimilabilidad de muchos elementos químicos que para la planta son esenciales, y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir en ella graves alteraciones (Navarro y Navarro, 2003).

1.4.3- El nitrógeno del suelo

Junto con el agua, el nitrógeno es el factor limitante más común para las plantas, a pesar de tratarse de uno de los elementos mayoritarios que constituyen los seres vivos y el componente mayoritario de la atmósfera. Este elemento es inerte y solamente utilizable por las plantas y animales en forma fijada, mineral para los primeros y orgánica para los segundos (Melgar y Zorita,

2008). La asimilación de nitrógeno inorgánico dentro de la planta y en la biomasa microbiana del suelo es esencial para mantener la fertilidad y la productividad en los ecosistemas terrestres (Navarro y Navarro, 2003).

El nitrógeno se encuentra en diferentes formas en el suelo y es el elemento más susceptible a ser transformado por acción de los microorganismos (Navarro y Navarro, 2003). Estas transformaciones ocurren simultáneamente, generándose productos por acción metabólica microbiana, los cuales luego se convierten en sustrato para otro tipo de microorganismos. El nitrógeno se acumula en la materia orgánica del suelo, debido a que es un componente importante en las células microbianas. También se puede encontrar en la naturaleza en forma de urea, como NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , NH_3 y en forma de gas en la atmósfera como N_2O , N_2 , NO , NO_2 (Melo, 2006; Nieder y Benbi, 2008). El nitrógeno atmosférico pasa por el proceso de fijación por acción microbiana, en el que el N_2 atmosférico es reducido biológicamente a amoníaco mediante la siguiente reacción: $\text{N}_2 + 16 \text{ATP} + 8\text{e}^- + 8\text{H}^+ \rightarrow 2\text{NH}_3 + \text{H}_2 + 16 \text{ADP} + 16 \text{Pi}$ (James y Moir, 2011)

1.4.4- El fósforo del suelo

El fósforo después del nitrógeno es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos y, además, en el suelo es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas. Los bosques tropicales presentan limitaciones de este nutriente (Vitousek, 1984). Los microorganismos solubilizadores de fosfatos son ubicuos en el suelo y su abundancia varía según el tipo de suelo; pueden ser tanto hongos como bacterias, pero las bacterias superan en número a los hongos entre 1- 250 veces (Gyaneshwar *et al.*, 2002). El principal mecanismo para la solubilización de fosfato mineral es la producción de ácidos orgánicos y las fosfatasa ácidas extracelulares (Olander y Vitousek, 2000), la cual resulta en una acidificación de las células microbianas y una disminución general del pH en el área circundante (Stevenson y Cole, 1999).

1.5- La Microbiota del suelo

1.5.1- Importancia de los microorganismos en el suelo

Los microorganismos del suelo, son los componentes más importantes de este ya que constituyen su parte viva y son los responsables de la descomposición, mineralización de complejos orgánicos, translocación de bioproductos y elementos minerales, así como contribuir a la Fijación de Nitrógeno Atmosférico.

Juegan un rol importante en el suelo ya que intervienen activa y directamente en ciclos geoquímicos como el del C, el del N, el del P y el del S, que son los más conocidos. También toman parte en una buena cantidad de procesos y reacciones que tienen que ver con la nutrición vegetal. En un solo gramo de tierra fértil, se encuentran millones de microorganismos benéficos para los cultivos, entre los cuales se pueden encontrar: bacterias, actinomicetos, hongos, algas, protozoarios y virus que ejercen control sobre las poblaciones bacterias (Germina, 1993).

La mayoría de los suelos contienen entre 10^9 y 10^{10} microorganismos por gramo (Madigan *et al.*, 2004), las bacterias son las más numerosas llegando a 10^8 individuos y pueden estar representados por más de 10^4 y 10^6 especies diferentes. Solo las bacterias del tipo Actinomicetos llegan a representar entre 10^6 y 10^7 individuos por gramo (Sylvia *et al.*, 1999).

Se estima que se pueden encontrar en torno a 40 millones de células bacterianas en un gramo de tierra y un millón de células bacterianas en un mililitro de agua dulce. En total, se calcula que hay aproximadamente 5×10^{30} bacterias en el mundo (Whitman W *et al.*, 1998).

En el ciclo del carbono, los hongos juegan un papel fundamental puesto que son los organismos responsables de transformar alrededor del 80% de la celulosa que se produce y ésta es la mayor reserva de carbono en el mundo y el polisacárido más abundante en la naturaleza, con una producción que se estima en 1.4 billones de t^{-1} año, según Markhamy Bazin, citados por Cabrera (2000).

La degradación de la celulosa se hace por las celulasas producidas por los microorganismos que la transforman a glucosa libre o a oligosacáridos. Cabrera (2000) encontró en Ultisoles y Oxisoles de los alrededores de Leticia, Amazonas (Colombia), especies de *Trichoderma*, *Penicillium* y *Clonostachys* con alta actividad celulolítica, aunque también encontró especies de *Aspergillus*, *Fusarium*, *Verticilum*, *Beauveria*, *Chaetomium*, *Lentinus* y *Poria* que también presentaban algún grado de dicha actividad.

En resumen, los microorganismos constituyen un factor importante en el proceso de formación de suelo; participan en la transformación de compuestos orgánicos y minerales, e influyen en el contenido y movilidad de los macro y microelementos, así como en su balance y asimilación por las plantas. Teniendo en cuenta el papel multifacético que ellos juegan en el suelo, numerosos investigadores en todas las regiones del mundo, han desarrollado estos estudios, con el fin de conocer la dirección e intensidad de los procesos edáficos regidos por las biocenosis microbianas (Martínez *et al.*, 1982, 1983 a y b).

1.5.2 - Principales grupos microbianos del suelo

Entre los microorganismos que presentan gran importancia en la actividad biológica del suelo se encuentran las bacterias, los hongos y los actinomicetos.

1.5.2.1- Las bacterias

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares; la mayor parte de ellas presenta forma esférica (cocos) o de bastón (bacilos) y los actinomicetos son organismos procariotas filamentosos; sus hifas son cenocíticas y tienen aproximadamente el mismo diámetro de las bacterias frecuentemente ramificadas y entrelazadas, por lo que son difíciles de contar (Thompson y Troeh, 1988).

La clase y abundancia de bacterias presentes en una fracción de suelo dependen de los sustratos que la compongan y de sus condiciones (suelo ácido, con materia orgánica alta, anegado, de sabana). Los grupos bacterianos que actúan primero sobre los sustratos disponibles son dominantes hasta que termina su acción y luego dan oportunidad a que otros grupos crezcan en el residuo del metabolismo de los primeros.

Por lo tanto, hay grupos bacterianos que permanecen y otros que entran en latencia hasta que encuentran condiciones favorables para su crecimiento. Las bacterias tienen especial importancia en la relación suelo-planta y son responsables del incremento o disminución en el suministro de nutrientes.

Entre los géneros bacterianos más importantes en la agricultura por la transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus*, y *Rhizobium* (Rodríguez y Fraga, 1999); (Orberá *et al.*, 2005); (Cordero-Elvia *et al.*, 2008); (Poonguzhali *et al.*, 2008); (Sharan *et al.*, 2008).

En tanto, la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) es un proceso llevado a cabo por organismos denominados diazótrofos, en donde el Nitrógeno molecular es reducido a amonio e incorporado a la biósfera. Esta propiedad está restringida sólo a procariotas y se encuentra muy repartida entre los diferentes grupos de bacterias y algunas arqueobacterias. Es un proceso que consume mucha energía y ocurre con la mediación de la enzima nitrogenada (Cuervo, 2010).

1.5.2.1.1- Bacterias fijadoras de nitrógeno

Los microorganismos fijadores de nitrógeno no constituyen un grupo taxonómico homogéneo, la única característica que comparten es la presencia de la enzima nitrogenasa (Zehr *et al.*, 2003); (Cerna *et al.*, 2009). Este grupo reviste gran importancia debido a las ventajas tanto ecológicas como económicas que puede proporcionar su adecuada aplicación (Daniel, 2004); (Villegas y Munive, 2005); (Urzúa, 2005); (Bhattacharjee *et al.*, 2009); (Cong *et al.*, 2009); (Weir, 2011).

Los fijadores de vida libre generan amonio para su propio uso y los fijadores de nitrógeno simbióticos, como rhizobia, fijan nitrógeno asociados a la planta hospedera y le proveen nitrógeno a cambio de carbono y de un hábitat de protección (Rueda-Puente *et al.*, 2009).

El Medio Ashby es un medio de cultivo libre de Nitrógeno el cual se emplea para la cuantificación de microorganismos con capacidad para Fijar Nitrógeno Atmosférico. El hecho de que éste medio no contenga Nitrógeno en su composición, permite identificar cepas con potencial Fijación de Nitrógeno al

observarse si presentan o no crecimiento sobre el mismo. De esta manera, el crecimiento indica que la cepa es capaz de suplir su necesidad metabólica de Nitrógeno haciendo uso del Nitrógeno Atmosférico presente en la micro-atmósfera que encierra la placa Petri y, por el contrario, cepas con un crecimiento nulo indican que metabólicamente son incapaces de usar este Nitrógeno y por consiguiente son descartadas como posibles Fijadoras de Nitrógeno.

5.2.1.2- Bacterias solubilizadoras de fósforo

Se considera, que la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutriente disponible para las plantas (Illmer y Schinner, 1992).

Las plantas deben absorberlo del suelo, donde se encuentra en muy baja concentración, normalmente en niveles que varían entre 5 y 30 mg kg⁻¹. Estos índices bajos del nutriente se deben a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que provocan su precipitación o fijación, disminuyendo su disponibilidad para los vegetales (Rodríguez y Fraga, 1999).

Existen una variedad de géneros de bacterias con la capacidad de solubilizar fosfato: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *lavobacterium*, *Mesorhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Erwinia*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Mycobacterium*, *Serratia* (Sperber, 1958); (Goldstein, 1986); (Rodríguez y Fraga, 1999) ;(Kumar *et al.*, 2001).

Estos microorganismos crecen en medios con fosfato tricálcico, apatita u otros materiales insolubles similares como única fuente de fosfato y no sólo asimilan el elemento, sino que solubilizan una gran proporción del mismo, liberándolo en cantidades superiores a sus demandas nutricionales. El principal mecanismo microbiológico por el cual los compuestos fosfatados son movilizados es la disminución del pH del medio por la liberación de ácidos orgánicos (Alexander,

1980). Se han descrito otros posibles mecanismos, tales como la eliminación de protones afuera de la célula y su intercambio con cationes unidos al fósforo o la producción de ácidos inorgánicos como el ácido sulfhídrico, el ácido nítrico o el ácido carbónico (Rodríguez y Fraga, 1999).

1.5.2.1.3- Hongos del suelo

Los hongos filamentosos son microorganismos eucarióticos, aerobios facultativos que se reproducen de manera natural por esporas, sexual o asexualmente (Vargas y Villamizar, 2005). Los hongos tienen como característica común la ausencia de clorofila, por tanto, no pueden realizar fotosíntesis y deben nutrirse a partir de materia orgánica ya elaborada (Arenas, 1993). Así mismo, tienen una pared celular formada por quitina el cual es un compuesto (polisacárido) fuertemente rígido. Por lo anterior, este tipo de microorganismos deben absorber los nutrientes simples y solubles, al contrario de fagocitarlos alimentos.

La estructura fúngica consta de un complejo llamado talo o micelio, que a su vez está constituido por múltiples filamentos o hifas independientes, que pueden ser septadas o no septadas; con un diámetro consideradamente mayor que los actinomicetes comunes, poseen hifas vegetativas y fértiles, que producen esporas sexuales o asexuales (Herrera, 1990; Schlegel, 1997).

Fisiológicamente, los hongos filamentosos se adaptan a condiciones más severas que otros microorganismos, su desarrollo en sustratos puede ser con concentraciones de azúcares elevados, hasta el 10%, debido a que estos microorganismos no son sensibles a la presión osmótica elevada; creciendo muy lentamente de 5 a 7 días, y resistiendo condiciones de acidez relativamente altas (pH entre 2-9, óptimo pH: 5-6) (Moreno, 2000). La glucosa es una fuente de carbono aprovechada por muchos hongos, también pueden utilizar compuestos de carbono orgánicos complejos como el almidón y la celulosa. De igual forma, aprovechan fuentes de nitrógeno inorgánico como sales de amonio y nitratos y emplean además sustratos con nitrógeno inorgánico y carbono, como por ejemplo el extracto de levadura y peptona (Pelczar y Reid, 1996).

El rol primario de los hongos es descomponer la materia orgánica a través de la producción de una amplia gama de enzimas extracelulares. En virtud de su gran biomasa representan una porción significativa de los nutrientes del ecosistema. En pastizales, por ejemplo, pueden llegar a 250 Kg ha⁻¹ de hifas secas en los primeros 5 cm de la superficie, conteniendo tanto como 8 Kg de Nitrógeno (N) y 2 Kg de Fósforo (P) (Bardgett, 1993).

Los hongos además tienen otras importantes funciones en el suelo. Actúan como patógenos de plantas, mantienen unidas las partículas del suelo aumentando la estabilidad estructural, y proveen alimento a la fauna. Algunos hongos, como las micorrizas, forman mutualismos con las raíces de las plantas, proveyendo nutrientes limitantes como P a la planta y recibiendo a cambio compuestos de C y un espacio libre de competidores (Simard, 2004).

En suelos aireados, los hongos constituyen gran parte de la masa microbiana total; ellos son abundantes en los horizontes orgánicos de suelos boscosos o selváticos y son los que llevan a cabo la descomposición en ambientes ácidos.

Existen diversas técnicas en laboratorio para su estudio. El método que se usa frecuentemente para enumerarlos, es el recuento en placa inoculada con diluciones de suelo en medio de agar selectivo, este recuento es criticado debido a que no se sabe con certeza el origen de las colonias que aparecen sobre el agar, ya que pueden ser derivadas de una espora o fragmento de micelio vegetativo, por ello el conteo de esta manera se debe interpretar con cuidado y considerar las limitaciones de esta técnica.

El medio de cultivo Rosa bengala es medio ideal para la máxima recuperación de hongos (levaduras y mohos). Las bacterias acompañantes son inhibidas por el cloranfenicol, antibacteriano de amplio espectro. Gracias al pH neutro, las células y esporas dañadas crecen sin problemas, de ahí su magnífica recuperación (www.laboratoriosmicrokit.blogspot.com). Este medio limita la invasión de la placa por mohos de crecimiento rápido (ver Anexo 2).

1.6- Factores que afectan a los microorganismos en el suelo

El suelo es un medio muy complejo, donde se dan innumerables interacciones que afectan las poblaciones de los organismos que la habitan. Así mismo, los

factores medio ambientales pueden afectar directa o indirectamente las poblaciones microbianas (Wild, (1992).

El mismo autor plantea que el contenido de humedad del suelo influye en la actividad de la población microbiana de diferentes maneras, ya que a medida que se va secando el agua, las películas se hacen más finas y afectan la disponibilidad del agua y las relaciones osmóticas de las células. Las bacterias (aunque muchas midan menos de 1 μm de diámetro) parecen tener fácil motilidad en películas sensiblemente más gruesas a 1 μm , independientemente de que puedan desarrollarse con una humedad más baja.

En cambio, los hongos filamentosos y en menor proporción los actinomicetos, difieren de las bacterias en que sus hifas no necesitan crecer en una película continua de agua, sino que pueden atravesar espacios abiertos al aire y pueden realizar sus funciones en condiciones más secas que las bacterias (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 (ThompsonyTroeh,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 llegara dominar la población edáfica (Wild, 1992) ;(Meiklejon, 1957) registró un aumento espectacular de la proporción de actinomicetos en aislamientos obtenidos de un suelo de Kenia que había sufrido una sequía muy severa. Efectos similares se observaron en el sur de Inglaterra, después de años muy secos (Wild, 1992).

Otro factor importante es la temperatura, ya que la actividad metabólica de los organismos se inicia cuando se supera un determinado umbral térmico, aumenta a medida que las temperaturas se elevan hasta un cierto valor máximo y finalmente se reduce rápidamente cuando las temperaturas superan este valor (Wild,1992).

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).

Dighton *et al.* (1997) señalan que los factores abióticos del suelo pueden tener un papel importante en la dispersión de los microorganismos del suelo.

Cada uno de estos factores se manifiesta en la actividad agrícola de una forma u otra. Así, por ejemplo, al aplicar cal al suelo se puede modificar el pH y con ello la cantidad y actividad de algunos grupos de microorganismos los que se puede incrementar o disminuir. De igual manera puede suceder cuando se aplican compuestos agresivos al suelo como los plaguicidas los cuales pueden ser tóxicos para algunos microorganismos y con ello disminuye su número y actividad particular (Wild, 1992).

1.7- Relación entre las propiedades del suelo y los procesos ecosistémicos

La tasa en que se dan los diferentes procesos ecosistémicos relacionados con el suelo depende de alguna manera de las propiedades edáficas. Sin embargo, actualmente existen pocas conexiones explícitas entre propiedades específicas del suelo y los procesos ecosistémicos que dependen de estas (Palm *et al.*, 2007). La relación entre las propiedades del suelo y la función ecosistémica depende en gran medida de las complejas interacciones entre las plantas y el suelo, ya que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo determinan la composición vegetal y afectan de forma considerable la productividad y composición de los ecosistemas terrestres (Bardgett, 2005). Las relaciones entre las plantas y el suelo han sido documentadas ampliamente, pero muchos de los mecanismos subyacentes son aún desconocidos (Ehrenfeld *et al.*, 2005).

Varios estudios muestran interacciones entre la composición y actividad de la biota edáfica y la cantidad y calidad de los productos vegetales (Brussaard *et*

al., 1996; (Callaway *et al.*, 2004). Estas interacciones resultan de las relaciones entre plantas, microorganismos y edafofauna. Las relaciones entre la edafofauna y las comunidades vegetales han sido estudiadas ampliamente (Bardgett y Chan, 1999; (Bradford *et al.*, 2002), mientras que la relación de los microorganismos con el funcionamiento del ecosistema depende de la composición de los ensamblajes microbianos y del tipo de proceso en el que estén involucrados. Procesos más generales como la respiración del suelo, la mineralización de compuestos de carbono simples y la inmovilización del nitrógeno requieren capacidades metabólicas que poseen muchas poblaciones redundantes, por lo que se predice que estos procesos no deben variar mucho dentro o entre sistemas. En contraste los procesos más constreñidos son realizados por un grupo restringido de microorganismos e incluyen a nitrificación, la producción de gases traza y la degradación de lignina.

Para este tipo de procesos, un cambio en la abundancia o en las características de las poblaciones con la capacidad metabólica necesaria tendrá un impacto observable en los procesos en una escala ecosistémica (Balser *et al.*, 2001). Esto implica que según la especificidad del proceso este será más o menos sensible a las pérdidas de la diversidad. Sin embargo, incluso en procesos como la descomposición donde intervienen muchas especies, algo de diversidad es necesaria dentro de estos grandes grupos funcionales, para mantener los procesos en ambientes heterogéneos como lo son los bosques tropicales (Orians *et al.*, 1996).

Por el contrario, los parámetros biológicos y bioquímicos son sensibles a leves modificaciones que el suelo puede sufrir en presencia de algún agente degradativo (Filip, 2002; Nannipieri *et al.*, 2003; Raiesi, 2006). En tal sentido, los microorganismos son potencialmente buenos indicadores por responder a prácticas de manejo de suelos en cortos períodos de tiempo (meses, años) y fáciles de evaluar. Por ejemplo, cambios en biomasa microbiana, o en la abundancia de grupos funcionales de microorganismos (hongos micorrízicos, microorganismos celulolíticos) pueden ser detectados antes de evidenciar cambios en la materia orgánica del suelo u otras propiedades físicas y químicas del mismo (Sparling, 1992).

Las características físico-químicas del suelo generan microhabitats en los que se pueden desarrollar complejas poblaciones de bacterias, siendo la variabilidad en los factores microbiológicos mayor que la variabilidad en los parámetros físicos y químicos (Rovero y Kaiser, 1999). Se ha encontrado una enorme variabilidad espacial (horizontal y vertical en suelos agrícolas) y temporal (estacional) para los diferentes parámetros microbiológicos del suelo que incluyen el tamaño de la biomasa (Fierer *et al.*, 2003a; Stenrod *et al.*, 2006), actividad biológica total (Fierer *et al.*, 2003b, Stenrod *et al.*, 2006), la estructura de la comunidad (Fierer *et al.*, 2003a) y la actividad degradativa de los pesticidas.

Capítulo 2

2- Materiales y Métodos

Selección del área de estudio

El trabajo se desarrolló en el período comprendido entre 2015 – 2017. Las áreas objeto de estudio de la investigación se localizan en la zona del Jardín Botánico de Cienfuegos que abarca una superficie de 94 ha en la porción este del municipio de Cienfuegos, y refiere coordenadas geográficas determinadas por un punto medio donde la latitud alcanza los 20^o 07' norte y la longitud los 80^o 20' oeste. Ubicado en el asentamiento Pepito Tey a 18 kilómetros de la ciudad de Cienfuegos. Su altitud no supera los 50 metros sobre el nivel medio del mar. Limita al norte con la Planta de Asfalto Enrique Cantero, al sur con la Empresa Agropecuaria Pepito Tey, al este con el río Arimao y al oeste con la carretera circuito sur en su tramo Cienfuegos –Trinidad (Fig. 2).



Fig.2 Ubicación del área de estudio. (Fuente: Ojeda, 2000)

Partiendo de dicho mapa se marcaron los puntos para la selección de las áreas de estudio. Se seleccionaron tres áreas de estudio, representada por un Bosque natural, ubicada dentro del Jardín Botánico de Cienfuegos, un área Silvopastoril y un área de cultivos varios, aledañas a este.

Diseño metodológico de la investigación

Se desarrolló una investigación No Experimental para determinar las propiedades microbiológicas del suelo y su relación con las propiedades físicas-químicas en tres áreas (bosque natural, área silvopastoril y área de cultivos varios) donde se aplicaron métodos del orden teórico y práctico, entre los que destacan:

- Métodos del orden teórico: analítico – sintético, histórico – lógico e inductivo-deductivo y análisis documental.
- Métodos del orden práctico: observaciones directas, mediciones en el lugar, análisis de laboratorio y estadístico.

El diseño experimental utilizado fue al azar, con los tratamientos dispuestos en un esquema multivariado, los factores fueron: uso de suelo con tres niveles (cultivos varios, silvopastoril y bosque) y (profundidad del suelo), con un nivel (primer perfil: 0-20 cm de profundidad), con cinco repeticiones cada uno.

Para el análisis de los datos se usó el paquete estadístico SPSS versión 12,5 para Windows. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, las medias fueron comparadas por el tes de Tukey con un nivel de significación ($P < 0,05$). Se analizaron los estadígrafos: media aritmética, coeficiente de variación y error típico.

2.1- Caracterización del área objeto de estudio: bosque natural, silvopastoril y cultivos varios.

Para determinar las características de cada una de las áreas se utilizó el método de orden teórico: analítico – sintético, histórico – lógico e inductivo- deductivo y análisis documental, mediante entrevistas a especialistas del Jardín Botánico y el dueño del área de cultivos varios, también se utilizó análisis documental del Informe de Suelo Proyecto Monte Natural, ofrecidos por los especialistas del propio Jardín Botánico para el área del bosque.

Bosque Natural

El ecosistema de bosque estudiado se encuentra en las profundidades del Jardín Botánico de Cienfuegos, cuenta con una vegetación pródiga y exuberante ideal para esta investigación porque demuestra que el suelo no ha

sido trabajado por el hombre. Corresponde a un tipo de bosque semidesiduo mesófilo, con un suelo virgen y sano sin la realización de ningún manejo agronómico (Castañeda, 2002).

Áreas silvopastoril y cultivos varios.

El área de pasto y cultivos varios es propiedad del campesino Alfonso Curveira Hernández dueño de la finca La Victoria, la cual fue valorada para su estudio con el propietario y con especialistas del Jardín Botánico de Cienfuegos.

Área Silvopastoril

El área de Silvopastoril, se encuentra en condiciones naturales, sin ningún manejo agrícola, se divide en 2, un área de árboles invasores formados de manera natural y el área con malezas.

Área de cultivos varios

El área de cultivos varios perteneció a la empresa azucarera Pepito Tey hasta el 2004 que estuvo sembrado con caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), con mecanización intensa y fertilización, desde esta fecha y hasta el 2008 estuvo abandonado.

Esta área tiene como fin la producción de alimentos tanto para consumo animal como familiar. Se explota desde el 2008 hasta la actualidad, y desde esta fecha no utiliza fertilización.

Toma de muestras

El muestreo se realizó en los diferentes campos según la Metodología de García *et al.*, (2012), obteniéndose el material necesario para efectuar los análisis de laboratorio.

Se seleccionaron cinco puntos de muestreos al azar para cada uso de suelo: en el bosque, en el pasto y áreas con cultivos varios, tanto para el análisis microbiológico como para el análisis químico y una vez definido los límites de cada unidad se procedió para cada punto a tomar 15 submuestras, según la metodología de ICA (1992), lo que formaron los 5 puntos de muestreos para cada área de estudio. Todas las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20cm, ya que es en esta zona donde se pueden encontrar los microorganismos de interés (Brady y Weil, 1999).

2.1.1- Caracterización de la vegetación de las áreas de estudio

Para caracterizar la vegetación nos auxiliamos de la entrevista con la especialista del Jardín Botánico, corroborando la información con el Informe de Suelo Proyecto Monte Natural Ojeda et al., (2007) para el área del bosque y para el área silvopastoril, por observación directa y auxiliada por el Manual de Manejo de Arvenses en Cultivos Agrícolas de Cuba (2014). En el área de cultivos varios por entrevista al dueño de la Finca y para nombrar los cultivos por el Diccionario botánico Roig y Mesa (2014).

2.1.2- Caracterización del suelo de las áreas de estudio

Se realizaron recorridos por el área para la observación y actualización de la información aportada por el perfil de suelo de la finca realizado en el estudio a escala 1: 25 000; (IS, 1988), realizándose posteriormente el muestreo de los diferentes campos según la Metodología de García *et al.*, (2012).

2.1.2.1- Caracterización Física-Química

Con la información de todos los puntos, se procedió a determinar las propiedades físicas (Anexo.1 y 2) siguiendo el Manual para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los Suelos (Hernández *et al.*, 1995), y se clasificaron según la Segunda Clasificación Genética (IS, 1988); estamos en presencia de un suelo Pardo con Carbonatos Típico.

Para las propiedades químicas, las muestras fueron envasadas en bolsas de polietilenos, bien identificadas con una tarjeta de muestreo y enviadas al laboratorio de la Estación territorial de investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) en Ranchuelo, provincia Villa Clara.

Las propiedades físicas analizadas fueron:

- ✓ Erosión
- ✓ textura
- ✓ estructura
- ✓ porosidad

Las propiedades químicas analizadas fueron:

- ✓ materia orgánica (MO): por el método Walkley & Black
- ✓ fósforo asimilable (P₂O₅): por el método de Onniani
- ✓ nitrógeno: por el método Kjeldahl
- ✓ (pH H₂O): por el método Potenciométrico
- ✓ Humedad: Por pesadas hasta peso constante % (AOAC, 2005)

En la interpretación de las propiedades físicas y químicas del suelo se utilizaron las clasificaciones según el Manual de Interpretación de los índices Físico-químicos y Morfológicos de los Suelos cubanos MINAG. (1982) y la Guía para la descripción de Suelos de la FAO (2009).

2.2-Cuantificación de las bacterias solubilizadoras de fósforo, bacterias fijadoras nitrógeno y hongos en áreas con diferentes usos de suelo.

2.2.1-Colección de muestra de suelo para la cuantificación de los microorganismos.

Las muestras de los suelos se colocaron en bolsas de polietilenos previamente identificadas con sus datos, y refrigeradas hasta el momento de llevarlas al laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Villa Clara para cuantificar los microorganismos y hacer las evaluaciones correspondientes. En el laboratorio, las muestras de suelo se mezclaron y se secaron al aire sin llegar a la desecación extrema (Martínez-Viera *et al.*, 2006).

Las variables microbiológicas analizadas fueron: bacterias fijadoras de nitrógeno, bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos.

2.2.2-Cuantificación de Bacterias Fijadores de Nitrógeno

Para efectuar la cuantificación se empleó el método de diluciones seriadas (Ramírez, 2000), el cual inicia tomando una muestra de 10 gramos de suelo y se adicionan a 90mL de Agua Destilada Estéril (ADE). Esta es la solución madre, de donde al tomar 1mL y depositarlos en 9mL de ADE se prepara la primera dilución 10⁻¹, a partir de esta se lleva a cabo las siguientes diluciones

sucesivas hasta llegar a 10⁻⁹. Luego, se siembra por triplicado 0,1mL de cada dilución en la superficie del Medio Ashby (Anexo 2). Posteriormente se incubaron las placas durante 7 días a 37 °C, luego se cuantificaron las colonias que formaron halo transparente como indicador de capacidad de solubilizar fósforo (Anexo 3).

2.2.3- -Cuantificación de Bacterias Solubilizadoras de Fósforo

Se utilizó el procedimiento anterior para la cuantificación de Bacterias Fijadores de Nitrógeno, pero en este caso fue utilizado el medio de cultivo Pikovskaya (Anexo 2). Para la incubación de las placas se procedió igual que para las bacterias solubilizadoras de fósforo (Anexo 3).

2.2.4- Cuantificación de hongos

Para efectuar esta cuantificación se empleó el mismo de los epígrafes anteriores, pero en este caso fue utilizado el medio de cultivo Rosa Bengala (Anexo 2). En este caso las placas se incubaron a 25° C durante 48 h, al cabo de las cuales se procedió a la cuantificación de todas las colonias de hongos (Anexo 4).

La presencia de rosa de bengala en la base, suprime el crecimiento de bacterias y restringe el tamaño y la altura de las colonias de hongos de crecimiento rápido. Esta restricción ayuda en el aislamiento de hongos de crecimiento lento y pueden crecer las levaduras. Con la adición del rosa de bengala se facilita el recuento de hongos.

Los resultados se reportaron en unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo de suelo, (Ramírez, 2000). Al realizar el recuento de las colonias se determina las características macroscópicas propias de los microorganismos de interés.

2.3- Relacionar la densidad de las bacterias solubilizadoras de fósforo, las bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos.

Para Comparar los factores físicos, químicos y biológicos en los tres usos se realizó mediante comparación múltiple de las medias, utilizando análisis de varianza simple.

Para determinar la relación entre las propiedades físicas-químicas y las variables microbiológicas, se utilizó una correlación de Pearson.

Para todos estos análisis se empleó el programa estadístico SPSS.15.

Capítulo 3

3-Resultados y Discusión.

3.1- Caracterización del área bosque natural, silvopastoril y cultivos varios del Jardín Botánico de Cienfuegos.

3.1.1- Caracterización de la vegetación de las áreas de estudio

Área de bosque natural

Las características de la vegetación de los puntos seleccionados del área de bosque se muestran en la Tabla.3

Como se puede observar el ecosistema de bosque natural estudiado cuenta con una vegetación pródiga y exuberante ideal para esta investigación porque demuestra que el suelo no ha sido trabajado por el hombre.

Tabla.3. Composición de la vegetación del bosque.

No.	Especies	Familias
1	<i>Adelia ricinella</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>
	<i>Argythamnia candicans</i> Sw. var. <i>candicans</i>	
	<i>Ateramnus lucidus</i> (Sw.) Rothm.	
	<i>Croton lobatus</i> L. (Frailecillo cimarrón)	
	<i>Croton lucidus</i> L.	
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L. (Hierba lechosa)	
	<i>Platygyne hexandra</i> (Jacq.) Muell. Arg.	
	<i>Savia sessiliflora</i> (Sw.) Willd.	
<i>Tragia volubilis</i> L.		
2	<i>Borreria laevis</i> (Lam.) Griseb. (Hierba de toro)	<i>Rubiaceae</i>
	<i>Calycophyllum candidissimum</i> (Vahl.) DC.	
	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc.	
	<i>Genipa americana</i> L.	
	<i>Hamelia patens</i> Jacq.	
	<i>Morinda royoc</i> L.	
	<i>Psychotria androsaemifolia</i> Griseb.	
	<i>Psychotria horizontalis</i> Sw.	

Tabla.3 Composición de la vegetación del bosque (Continuación)

3	<i>Abrus precatorius</i> L.	<i>Fabaceae</i>
	<i>Centrosema virginianum</i> (L.) Benth.	
	<i>Desmodium canum</i> (Gmel). Schinz. (Amor seco)	
	<i>Geoffreea inermis</i> W. Wright	
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Griseb.	
	<i>Lonchocarpus domingensis</i> (Pers.) DC.	
	<i>Mucuna pruriens</i> (L.) D.C. (Pica pica)	
4	<i>Bastardia bivalvis</i> (Cav.) Kunth.	<i>Malvaceae</i>
	<i>Malachra alceifolia</i> Jacq. (Pelo de buey)	
	<i>Malachra capitata</i> L. (Malva mulata)	
	<i>Sida acuta</i> Burm. fil. (malva de caballo)	
	<i>Sida rhombifolia</i> L. (Malva de cochino)	
	<i>Sida urens</i> L.	
	<i>Urena lobata</i> L. (Malva blanca/ Guizazo)	
5	<i>Ichnanthus mayarensis</i> (Wright) Hitch.	<i>Poaceae</i>
	<i>Lasiacis divaricata</i> (L.) Hitchc.	
	<i>Lasiacis sloanei</i> (Griseb.) Hitchc.	
	<i>Litchane pauciflora</i> Sw.	
	<i>Panicum maximum</i> Jacq. (Yerba de Guinea)	
	<i>Pharus glaber</i> H.B.K.	
6	<i>Cupania americana</i> L.	<i>Sapindaceae</i>
	<i>Cupania glabra</i> Sw.	
	<i>Melicoccus bijugatus</i> Jacq.	
	<i>Paulinia fuscescens</i> H.B.K.	
	<i>Serjania atrolineata</i> Sw. ex Wr.	
	<i>Serjania diversifolia</i> (Jacq.) Radlk.	
7	<i>Bourreria succulenta</i> Jacq. var. <i>succulenta</i>	<i>Boraginaceae</i>
	<i>Gerascanthus collococcus</i> (L.) Borhidi	
	<i>Gerascanthus gerascanthoides</i> (HBK.) Borhidi	
	<i>Varronia globosa</i> ssp. <i>humilis</i> (Jacq.) Borhidi	
	<i>Tournefortia hirsutissima</i> L.	
8	<i>Achyranthes aspera</i> var. <i>indica</i> L. (Rabo de gato)	<i>Amaranthaceae</i>
	<i>Althernantera paronychoides</i> ST. Hil.	
	<i>Amaranthus viridis</i> L. (Bledo manso)	
	<i>Chamissoa altissima</i> (Jacq.) H.B.K.	
	<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	
9	<i>Hohenbergia penduliflora</i> (A. Rich.) Mez	<i>Bromeliaceae</i>
	<i>Tillandsia fasciculata</i> Sw.	
	<i>Tillandsia flexuosa</i> Sw.	
	<i>Tillandsia recurvata</i> L.	
	<i>Tillandsia usneoides</i> L.	

La vegetación existente en el bosque está representada por abundantes especies, en la tabla anterior se relacionan las familias con mayor

representatividad con el total de especies existentes. Las cifras de especies representadas no incluyen a las 48 taxonomía infra-específicos de diferentes géneros y familias que han sido introducidos intencionalmente, con el propósito de investigar su establecido en el lugar.

Coincide con lo bosquejado por Castañeda (2002) donde comenta que, la proximidad de esta comunidad vegetal al asentamiento popular Pepito Tey ha dado lugar a diferentes manifestaciones antrópicas, aunque en él se pueden apreciar rasgos de la flora y fisonomía que lo originan. El tipo de vegetación existente en el bosque natural corresponde al de un bosque semidesiduo mesófilo, lo que indica un bajo endemismo. Del total de especies predominantes, solo 9 son endémicas (5,3%); de ellas, 7 están ampliamente distribuidas en nuestro país: *Tabernaemontana amblyocarpa*, *Tapura cubensis*, *Espadea amoena*, *Securidaca elliptica*, *Jacquinia aculeata*, *Xanthosoma cubense* y *Platygyne hexandra*.

Área silvopastoril

Las características de la vegetación de los puntos seleccionados del área silvopastoril se muestran en la tabla.4

Se observa que en el momento del muestreo los puntos 1 y 2 estaban cubiertos de malezas, mientras que el resto de los puntos presentaban mayoritariamente plantas invasoras (***Cichorium intybus* L.**). Las cuales sirve de sombra y alimento para 50 cabezas de ganado pertenecientes al propietario de la finca de cultivos varios.

Tabla.4 Vegetación del área silvopastoril

Puntos de muestreos	Nombre común	Familia	Especie
1	Rabo de gato	Amaranthaceae	<i>Achyranthes aspera</i> <i>var. indica</i> L.
	Dormidera	Mimosaceae	<i>Mimosa pudica</i> L.
	Aroma blanco	Mimosaceae	<i>Leucaena glauca</i>
	Hierba Fina	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> L.
2	Aroma	Mimosaceae	<i>Dichrostachys cinérea</i> L.
3	Pilipili	Fabaceae	<i>Cichorium intybus</i> L.
	Soplillo		<i>Lysiloma latisiliquum</i>
	Chichicate	Urticáceae	<i>Urera baccifera</i> L.
	Cabo de hacha	Meliáceas	<i>Trichilia hirta</i>
4	Pilipili	Poaceae	<i>Cichorium intybus</i> L.
	Don Carlos		<i>Sorghum halepense</i> (L.)
	Lengua de Vaca	Compuesta	<i>Pseudelephantus spicatus</i>
5	Pilipili	Poaceae	<i>Cichorium intybus</i> L.
	Zancaraña		<i>Rottboellia cochinchinensis</i>
	Anamú	Phytolaccaceae	<i>Petiveria alliacea</i> L.

Área cultivos varios

Las características de la vegetación de los puntos seleccionados del área cultivos varios se muestran en la tabla.5

En el momento del muestreo en los puntos 1 y 2 el área se encontraba recién arada, no había cultivos sembrados desde hacía 8 meses, aunque el campesino la utiliza para sembrar yuca (*Manihot sculenta*) y maíz (*Zea mays L.*), tampoco se observaron malezas. El resto de los puntos estaban sembrado con yuca (*Manihot sculenta*) intercalado con maíz (*Zea mays L.*) y Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

Tabla.5 Vegetación del área cultivos varios.

Puntos de muestreos	Vegetación
1	Sin cultivo
2	Sin cultivo
3	Yuca (<i>Manihot sculenta</i>) Maíz (<i>Zea mays L.</i>)
4	Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)
5	Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)

3.1.2- Características del suelo de las áreas de estudio.

3.1.2-1- Características de las Propiedades Físicas

Las propiedades físicas determinadas se observan en la (Tabla. 6). El área del bosque presenta una estructura granular.

Presenta buena porosidad que le hace ser un suelo con niveles adecuados de aeración para el crecimiento de microorganismos aerobios.

La clase textural arcilla, con predominio del tipo arcilloso 2:1, considerada como ligeramente alta.

En cuanto a la textura del suelo, podemos decir que, así como los suelos arcillosos tienen la capacidad de retener en su superficie elementos nutritivos en forma asimilable, de igual forma retienen muy bien el agua se consideran suelos productivos y de buena textura, lo que coincide con el estudio realizado por (Ojeda *et al.*, 2007) en este bosque natural.

La erosión es mediana lo que se justifica con el resto de los parámetros físicos y químicos medidos y con las observaciones del lugar ya que no existe influencia antrópica alguna, lo que hace del bosque natural, un patrón interesante para estos estudios.

Lo contrario se observa en el área de cultivos varios, que se encuentran influenciada por factores naturales como la pendiente y antrópicos como el laboreo, se apreció los efectos del proceso erosivo, dado a la explotación inadecuada de tantos años, lo que influye en la pérdida de suelo, materia orgánica y nutrientes.

El resto de las propiedades estudiadas (ver Tabla.6) tienen un comportamiento similar al área de bosque, lo que nos indica que la estructura granular y la porosidad nos da un índice de buena aeración, aunque este parámetro no fue estudiado, en esta investigación coincide con estudios sobre estos parámetros (Fassbender y Bornemisza, 1987., Jaramillo, 2002, Hernández *et al.*, 2006), que comentan que la porosidad depende de la textura y la estructura del suelo y estas además son responsables de la aereación.

Es de destacar que en el área silvopastoril la porosidad fue débil aspecto este que se corresponde con la estructura terrena, y una erosión mediana.

El estudio del régimen hídrico en los suelos estudiados, muestra que, en los suelos del área de bosque natural, donde hay una variación en los contenidos de humedad del suelo por perfiles, estableciendo que en la capa superior puede presentarse deficiencia de humedad en época de seca, pero que, en la profundidad de 80 cm o más profundo (Hernández *et al.*, 2014), se mantiene un contenido de humedad dentro de los límites de la humedad productiva durante todo el año. (Domínguez, 2012)

Tabla. 6 Propiedades físicas.

Propiedades del suelo	Bosque	Silvopastoril	Cultivos varios
Estructura	Granular	Terronosa	Granular
Erosión	Mediana	Mediana	alta
Porosidad	Poroso	Débil	Poroso
Textura	Arcilloso	Arcilloso	Loam arcilloso

Como se aprecia en la Tabla. 6 el resultado coincidente con (Arce, 2013) al caracterizar los suelos de la UBPC Limones, área no muy lejana a las que son objeto de este estudio, tanto en la parcela dedicada a los cultivos varios (CV) como al silvopastoreo, influenciada por factores naturales como la pendiente y antrópicos como el laboreo, se apreció los efectos del proceso erosivo, lo que influye en la pérdida de suelo, materia orgánica y nutrientes.

3.1.2.2. Características de las Propiedades Químicas

Como se observa en la tabla. 7 de las propiedades químicas estudiadas, el pH en agua se comporta con valores medio entre 5,8 y 6,54 en los primeros 20 cm de profundidad todos estos valores son evaluados de ligeramente a medianamente ácido y no son característicos del tipo de suelo Pardo con Carbonatos, donde es común encontrar valores desde neutro hasta alcalinos. En el área silvopastoril se apreció un ligero aumento en el pH independientemente a que continúan en el mismo rango de calificación por lo que se alejan de lo que es característico del tipo de Suelos.

La materia orgánica en el área de cultivos varios es bajo, con valores medios de 2,32 %, sin embargo, en el área silvopastoril se observó un ligero incremento con valores medios de 2,49 %, en el área de Bosque la materia orgánica alcanzó valores medios de 4,54 %. Similar comportamiento fue para el

fósforo asimilable que incrementa en el área de bosque disminuyendo así para las áreas silvopastoril y cultivos varios. Los mayores valores de humedad se encuentran en las primeras capas del suelo en el bosque natural, lo cual está relacionado con la composición mecánica y mineralógica del suelo, el nitrógeno se comporta igual que los otros índices evaluados su mayor valor se encuentra en el bosque.

Tabla. 7 Comportamiento de los índices químicos evaluados.

Área	pH H ₂ O	Materia orgánica (%)	Fósforo Asimilable (mg/100g)	Humedad (%)	Nitrógeno (%)
Bosque	6,32	4,54	9,126	33,56	0,24
Silvopastoril	6,54	2,49	5,22	2,89	0,13
Cultivos varios	5,78	2,32	4,52	4,84	0,12

3.2- Cuantificación de las bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, y hongos

3.2.1-Cuantificación de las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Aunque los valores más elevados se encontraron en el área cultivos varios, estos microorganismos requieren de un pH neutro, de calcio, hierro y fósforo. Lo que se espera que, aunque no fue objetivo de este trabajo identificar las colonias aisladas este valor se refiera a algunas bacterias como *Beijerinckia* sp. y *Derxia* sp. se presentan en condiciones tropicales y pueden vivir en pH ácido, como es el que tiene esta área. Aunque algunos autores han encontrado *Azotobacter* en suelos con pH entre 4,6 y 5,3.

Sin embargo, por otra parte, se ha determinado que mientras que el medio no contenga Nitrógeno combinado existen mayores posibilidades que su

metabolismo este dirigido a tomar el nitrógeno atmosférico. En este caso en el área de cultivos varios el porcentaje de materia orgánica es el de menor valor, también de Nitrógeno por lo que se justifica que estas bacterias fijan mejor el nitrógeno atmosférico.

Otro parámetro que medido favorece también la presencia de las BFN, es la humedad. El hecho de que estas bacterias sean aerobias la humedad elevada en el área de bosque influye negativamente en el desarrollo de este grupo.

Tabla. 8 Conteo de colonias de las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN)

Puntos de muestreos	BFN (UFC/g de suelo)		
	Bosque	Silvopastoril	Cultivos varios
I	3,30x10 ⁵	3,00x 10 ⁵	6,46x10 ⁵
II	4,33x10 ⁵	3,00x10 ⁵	2,96x10 ⁵
III	3,33x10 ⁵	5,76x10 ⁵	6,33x10 ⁵
IV	5,33x10 ⁵	10,0x10 ⁵	7,26x10 ⁵
V	8,60x10 ⁵	4,40x10 ⁵	5,33x10 ⁵
Medias	4,97 x10⁵	5,23 x10⁵	5,66x10⁵

3.2.2-Cuantificación de las bacterias solubilizadoras de fósforo

En la tabla 9, se muestran los resultados del comportamiento de las BSF en los tres usos estudiados, los valores más elevados se presentaron en el bosque natural, este resultado esta en correspondencia ya que los valores fósforo asimilables obtenidos en esta área resultaron ser los más elevados, resultados no se corresponden con los que obtuvo (Useche, *et.al.*,2004) donde los niveles de fósforo se correlacionaron negativamente con el carbono orgánico mostrando que las BSF pueden más frecuentemente hacer uso de sustratos

orgánicos como fuente de energía, ellos además plantean la mayor abundancia relativa total de BSF en la profundidad 0-20 cm.

Sin embargo, en el área de cultivos varios, con una media de $27,2 \times 10^5$ este grupo no fueron los valores mas bajos, ya que en esta área hubo fertilización activa de agroquímicos, lo que no se corresponden con los obtenidos por (Hernández *et al.*, 2013) en la que la población bacteriana estuvo en niveles de 1×10^2 a 6.6×10^3 UFC g⁻¹, valores muy bajos para suelos con actividad agrícola, sugiriendo el efecto negativo de la aplicación de agroquímicos sobre las poblaciones microbianas del suelo.

Tabla. 9 Conteo de colonias de las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF)

Puntos de muestreos	BSF (UFC/g de suelo)		
	Bosque	Silvopastoril	Cultivos varios
I	$7,66 \times 10^6$	$3,40 \times 10^5$	$1,00 \times 10^5$
II	$1,00 \times 10^6$	$7,80 \times 10^5$	$7,50 \times 10^5$
III	$6,10 \times 10^6$	$3,20 \times 10^5$	$54,0 \times 10^5$
IV	$6,30 \times 10^6$	$46,0 \times 10^5$	$3,53 \times 10^5$
V	$1,36 \times 10^6$	$60,0 \times 10^5$	$70,0 \times 10^5$
Medias	$4,48 \times 10^6$	$24,0 \times 10^5$	$27,2 \times 10^5$

3.2.3- Cuantificación de los hongos.

La presencia de hongos en el área de cultivos varios y silvopastoril fue mayor que la cuantificada en el área de bosque a pesar de ser esta área rica en materia orgánica, lo que no concuerda con Jenser, 2012 citado por (Novo, 2007) que plantea una correlación directa entre la densidad fungosa y el contenido de humus en suelos australianos.

Por otra parte, se demostró de que a pesar de que la humedad tiene un efecto directo sobre la abundancia de los hongos, esto no concuerda con los resultados obtenidos donde los menores niveles se obtuvieron en el área bosque donde la humedad fue elevada, esto puede ser debido a dos factores primero que estos organismos pueden persistir en condiciones de semiáridéz porque la humedad excesiva disminuye los niveles de O_2 y por tanto sus poblaciones disminuyen.

Con respecto al nitrógeno presente, se conoce que el tratamiento con fertilizantes amoniacales incrementa el número de hongos debido a la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal con o consiguiente producción de ácidos nítrico, el cual tiende a reducir el pH del suelo, razón por la cual en el área de cultivos varios y silvopastoril respectivamente la presencia de Unidades Formadoras de Colonias de hongos supera la del bosque ya que el pH en esta área es más ácido en cultivos varios y el silvopastoril esto concuerda con (Alexander, 1980; Cordero, et al., 1992; Mayea, 1982) donde la mayor cantidad de hongos se relaciona con valores bajos del pH del suelo.

Esta predilección de estos organismos de crecer en pH ácido y no de optar por alto contenido de materia orgánica se explica ya que en esta área con estos pH los hongos no compiten con otros organismos como las bacterias ya que ellas se desarrollan mejor a pH alcalinos o neutros.

Tabla. 10 Conteo de colonias de hongos.

Puntos de muestreos	Hongos (UFC/g de suelo)		
	Bosque	Silvopastoril	Cultivos varios
I	$3,56 \times 10^5$	$9,00 \times 10^6$	$1,00 \times 10^6$
II	$4,00 \times 10^5$	$9,30 \times 10^5$	$7,73 \times 10^5$
III	$3,56 \times 10^5$	$5,80 \times 10^6$	$5,00 \times 10^6$
IV	$4,33 \times 10^5$	$1,20 \times 10^7$	$1,22 \times 10^6$
V	$8,73 \times 10^5$	$6,70 \times 10^6$	$2,38 \times 10^7$
Medias	$4,83 \times 10^5$	$6,88 \times 10^6$	$6,35 \times 10^6$

3.3-Establecer la relación entre densidad de las bacterias fijadoras de nitrógeno, las bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos y las propiedades fisicoquímicas del suelo en los diferentes usos.

Para determinar las diferencias significativas entre los tres usos con respecto a las propiedades químicas se realizó la prueba de Tuckey, la cual arrojó que los factores químicos estudiados como el fósforo presenta diferencias significativas en los tres usos de suelo, como se muestran en la tabla 11, sin embargo, la humedad, materia orgánica, pH y nitrógeno no presentan diferencias el área silvopastoril y cultivos varios con respecto al bosque Tabla 11,12, 13,14, 15 Para un nivel de significancia de 0, 05.

Tabla.11 Resultado del análisis estadístico del fósforo.

P205

Tukey B^a

F	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
3.00	5	4.684 4		
2.00	5		9.640 8	
1.00	5			26.5564

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Tabla.12 Resultado del análisis estadístico de la humedad

HUMEDAD

Tukey B^a

F	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
2.00	5	2.6540	
3.00	5	3.0280	
1.00	5		72.2600

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

Tabla.13 Resultado del análisis estadístico del pH

pH

HSD de Tukey^a

F	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
3,00	5	5,8400	
2,00	5	5,9360	
1,00	5		7,0320
Sig.		,796	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

Tabla.14 Resultado del análisis estadístico de la materia orgánica.

MO

HSD de Tukey^a

F	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
3,00	5	2,3360	
2,00	5	2,8344	
1,00	5		4,4652
Sig.		,112	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

Tabla.15 Resultado del análisis estadístico del nitrógeno.

N

HSD de Tukey^a

F	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	2
3,00	5	,1220	
2,00	5	,1320	
1,00	5		,2440
Sig.		,663	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 5,000.

En la Tabla. 16 se muestran los resultados estadísticos según Test Tukey de los grupos microbiano con respecto a los usos de suelos, se observa que no se encontraron diferencias significativas en los tres usos de suelo con respecto a las bacterias fijadoras de nitrógeno.

Tabla. 16 Análisis de Varianza de las BFN, BSF y Hongos con respecto a los tres usos de suelo.

Tratamientos	BFN	BSF	Hongos
Bosque	693,40 ^a	1982,73 ^a	683,63 ^c
Silvopastoril	629,43 ^a	677,32 ^b	2865,21 ^a
Cultivos varios	795,37 ^a	1945,19 ^a	1446,87 ^b
S.X	45,43	277,67	167,48
C.V (%)	14,39	40,45	22,49

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Con respecto a las bacterias solubilizadoras de fosforo, los resultados muestran diferencia significativa entre el área silvopastoril con respecto al área bosque y cultivos varios.

El grupo de los hongos tuvo un comportamiento diferente y significativo para los tres usos de suelo.

En el análisis correlacionar de las propiedades químicas con los microorganismos estudiados se obtuvo que las BFN no se ven influenciada por las propiedades químicas estudiadas en ningunos de los usos.

Sin embargo, las BSF presentaron una correlación alta y negativa en el bosque para el pH, que significa que estas bacterias disminuyen su crecimiento cuando aumenta el pH.

Por otra parte, se observó correlación positiva de los hongos encontrados en el pasto con la materia orgánica y el nitrógeno. Y fuertemente correlacionada en el área de cultivo varios con el nitrógeno.

Tabla. 17 Correlación entre las propiedades químicas con los distintos grupos microbianos.

		P₂O₅(mg/100g)	pH H₂O	M.O(%)	N(%)	Hum (%)
Bosque	BFN	0,14	0,62	-0,14	-0,65	0,14
	BSF	0,66	-0,84	-0,54	-0,14	0,35
	Hongos	0,20	0,60	-0,27	-0,72	-0,10
Silvopastoril	BFN	-0,16	-0,27	-0,03	0,00	0,30
	BSF	-0,29	-0,45	0,00	0,00	0,59
	Hongos	-0,22	-0,32	0,84	0,82	-0,58
Cultivos V	BFN	-0,14	-0,60	-0,33	-0,30	-1,00
	BSF	0,21	0,48	-0,20	0,07	0,40
	Hongos	-0,41	-0,42	0,52	0,98	0,30

Coefficiente Correlación Para 0,81 = 5 % y 0,91= 1%

Sin embargo si se observa ligeras comportamientos lógicos y esperados cuando lo comparamos con los resultados de las propiedades físico-químicos, como se explicó en el epígrafe anterior.

Conclusiones

- 1-** Los 3 usos de suelo estudiados presentaron diferencias en cuanto a sus propiedades físicas-químicas.
- 2-** La cuantificación de las Bacterias Fijadoras de Nitrógeno no resultó tener diferencia significativa en los 3 usos estudiados, y las bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos si presentaron diferencias en cuanto a los usos.
- 3-** Las BSF disminuyen con el aumento del pH en el bosque, los hongos se correlacionan con la materia orgánica y el nitrógeno en el silvopastoreo, y esta fuertemente correlacionada con el nitrógeno en el cultivo varios.

Recomendaciones

- Evaluar la actividad enzimática de estos grupos estudiados para determinar con mayor exactitud la influencia de las propiedades físicas y químicas sobre estos microorganismos.

- Evaluar otras comunidades microbianas del suelo usando técnicas de biología molecular o bioquímica que permitan determinar a un nivel más profundo, si existen cambios de los grupos funcionales evaluados y adicionalmente medir la actividad en situ de cada uno de los grupos.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, Y., y Paolini, J. (2006) Dinámica de la Biomasa Microbiana en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. *Punto Fijo*, 6(2),
- Adesemoye, A.O., Kloepper, J.W. (2009). "Plant-microbe's interactions in enhanced fertilizer-use efficiency " *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1 – 12
- Alexander, M. (1980). Transformaciones microbianas del fósforo. (p. 355-371). En: *Introducción a la microbiología del suelo*. México: AGT
- Altieri, M. (1997). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Consorcio Latino Americano sobre Agroecología y Desarrollo.
- Alzate Ramírez, J.D., Campiño Arias, D. (2014). *Actividad microbiana de suelos con manejo orgánico y convencional*. (Tesis de Grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Escuela de Química. Facultad de Tecnologías. Programa Tecnología Química. Pereira. Colombia
- Anónimo. (2009). Física de suelos y la relación suelo/planta/agua/atmósfera/labranza. Recuperado de: <http://www.eoma.aoac.org/>
- Ansorena, J. (1994). Composición y propiedades físicas del suelo. *El suelo en la agricultura y el medio ambiente* (I). *Sustrai*, 35, 22-25
- Arce, D. (2013). Evaluación de la implementación de un manejo de mejoramiento y conservación de suelos en la finca "Guasimal". (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Arenas, R. (1993). *Micología Médica Ilustrada. Clínica, laboratorio y terapéutica* (1ed).DF, México: McGraw Hill.
- Atlas, R., Bartha, R. (2001). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. (4ed). Madrid, España: Addison Wesley.
- Balser, T.C., Kinzig, A. & Firestone, M.K. (2001). Linking soil microbial communities and ecosystem functioning. In: *The Functional Consequences of Biodiversity: Empirical Progress and Theoretical Extensions*, Kinzig, A., Pacala, S.W. & Tilman, D. Eds (265–293 pp.). Princeton University Press, Princeton.
- Bardgett, C. K.F. (1999). Experimental evidence that soil fauna enhances nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montane grassland ecosystems. *Soil Biology & Biochemistry*, 31(7), 1007-1014.

- Bardgett, R. D. (2005). *The biology of soil: a community and ecosystem approach*, Oxford University Press. New York.
- Bardgett, R.D., Frankland, J.C. & Whittaker, J.B. (1993). The effects of agricultural management on the soil biota of some upland grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 45, 25-45.
- Bhattacharjee, R. B., Singh, A. & Mukhopadhyay, S. N. (2009). Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects y challenges. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 80, 199-209.
- Bitton, G., Lahav, N. & Henis, Y. (1974). Movement and retention of *Klebsiella aerogenes* in soil columns. *Plant and Soil*, 40, 373-380.
- Bradford, M.A., Jones, T.H & Bardgett, R.D., Black, H.I.J., Boag, B., Bonkowski, M. (2002). Impacts of Soil Faunal Community Composition on Model Grassland. *Ecosystems. Science*, 298(5593), 615.
- Brady, N.C., Weil, R.R. (1999). *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Brussardi, L., Bakker, J.P. & Olf, H. (1996). Biodiversity of soil biota and plants in abandoned arable fields and grasslands under restoration management. *Biodiversity and Conservation*, 5(2), 211-221.
- Budhu, M. (2007). *Soil mechanics and foundations*. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA.
- Cabrera, Grisel; Robaina, Nayla & Ponce de León, D. (2011). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34 (3), 331- 346.
- Cabrera, L.T.A. (2000). *Aporte al conocimiento de la microbiota fúngica del suelo de la amazonia colombiana, con énfasis en tres grupos funcionales*. Tesis (Biólogo). Pontificia Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. p. 353.
- Cairo, Fundora, H. O. (2005). *Edafología*. La Habana: Editorial Félix Varela. pp 382.
- Cairo, P., Herrera, O. (1994). *Algunas propiedades físicas de los suelos*. Edafología. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación
- Callaway, R.M., Thellen, G.C., Rodríguez, A. & Holben, W.E. (2004). Soil biota and exotic plant invasion. *Nature*, 427(6976), 731-733.
- Castañeda, I. (2002). Caracterización de la flora y de la vegetación de la sección de bosque natural del Jardín Botánico de Cienfuegos, en Informe Final del Proyecto Territorial 6-03-06. Comportamiento funcional y ecológico de un bosque de conservación en el jardín Botánico de Cienfuegos. La Habana. Cuba: CITMA
- Cerda, M. (2008). *Aislamiento de Micromonospora de nódulos de leguminosas tropicales y análisis de su interés como promotor del crecimiento vegetal*. (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca. Departamento de Microbiología y Genética. Salamanca, España.
- Cerna, B. E., Rejmankova, J., Snyder. M. & Santruckova, H. (2009). Heterotrophic nitrogen fixation in oligotrophic tropical marshes: changes after phosphorus addition. *Hydrobiologia*, 627, 55-65.
- Clasificación Agro Productiva, según un método Inductivo Cuantitativo* (Material Mecanografiado). MINAGRIC. (1988). La Habana: Instituto Nacional de Suelos.
- Colectivo de Autores. (1982). *Manual de Interpretación de los Índices Físico-*

- químicos y Morfológicos de los Suelos cubanos*. La Habana, Cuba: Editorial Científico – Técnica.
- Cong, P. T., Dang-Dung, T., Minh-Hien, T., Thanh-Hien, N., Choudhury-Abu, T. M. A., Kecske, M. L. & Kennedy, I. R. (2009). Inoculant plant growth-promoting microorganisms enhance utilization of Urea-N y grain yield of paddy rice in southern Vietnam. *European J. Soil Biol.* 45, 52-61.
- Cordero, E., Tsai S., Neves, M.C. (1992). *Microbiología solo*, SECS, Campinas, Brasil.
- Cordero-Elvia, J., Ortega-Rodés, P. & Ortega, E. (2008). La inoculación de plantas con *Pantoeasp.*, bacteria solubilizadora de fosfatos, incrementa la concentración de P en los tejidos foliares. *RevColombBiotecnol Julio*. X (1), 111-21.
- Cuervo, J. (2010). Aislamiento y Caracterización de *Bacillus* spp como fijadores biológicos de Nitrógeno y Solubilizadores de Fosfatos en dos muestras de biofertilizantes comerciales. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Básicas carrera de microbiología agrícola y veterinaria. Bogotá, Colombia.
- Daniel, G. J. (2004). Infection and invasion of roots by symbiotic, nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 280-300.
- Di Ciocco, C. A., Verónica R., Beatriz L. & Coviella, C. E. (2014). Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. *Rev. FCA UNCUYO*. 46(1), 73-85.
- Dighton, J., Jones, H., Robinson, C. & Beckett, 1997. The role of abiotic factors, cultivation practices and soil fauna in the dispersal of genetically modified microorganism in soils. *Applied Soil Ecology* 5, 109-131.
- Domínguez, T. (2012). *El Jardín Botánico de Cienfuegos: Una propuesta estratégica para el enfoque de sinergismos agroecológicos con el municipio Cienfuegos*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Doran, J.W., et al. (1994). Defining soil quality for a sustain unble environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Madison, Wisconsin, USA.
- Ehrenfeld, J.G., Ravit, B., Elgersman, K. (2005). Feedback in the plant-soil system. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 75-115.
- Etchevers, B. (1999). Indicadores de calidad de suelos. En: Conservación y restauración de suelos. Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente. México, D.F
- FAO. (2009). Guía para la descripción de Suelos. Roma, Italia: FAO.
- Fassbender, H. (1982). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 3ra reimpresión. IICA San José, Costa Rica.
- Fassbender, H., Bornemisza, E. (1987). *Química De Suelos: Con Énfasis en Suelos de América Latina*
- Fierer, N., Allen, A., Schimel, J. & Holden, P. (2003b). Controls on microbial CO₂ production: a comparison of surface and subsurface soil horizons. *Global Change Biology*, 9, 1322-1332.
- Fierer, N., Scimel, J. & Holden, P. (2003a). Variations in microbial community

- composition through two soil depth profiles. *Soils Biology and Biochemistry* 35, 167-176.
- Filip, Z. (2002). International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88, 169-174.
- Franco, M., 2008. *Assessment of characters PGPR in Actinomycetes and interactions of these Rizobacterias with mycorrhiza fungi*. (Tesis Doctoral) Thesis. University of Granada. Department of Plant Physiology.
- Frioni, L. (1999) *Procesos Microbianos*. Argentina: Editorial de la fundación Universidad Nacional, Rio Cuarto.
- Gahoonia, T.S., Nielsen, N.E., Joshi, P.A. & Jahoor, A. A. (2001). Root hairless barley mutant for elucidating genetics of root hairs and phosphorus uptake. *Plant Soil*, 9 (211).
- García, Y., Ramírez, W y Sánchez, S. (2012) Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. INTA. *Pastos y Forrajes*, 35 (2), 138.
- Germida, J. (1993). Cultural methods for soil microorganisms. In: *Soil sampling and methods of analysis*. M. R. Carter editor. Canadian Society of Soil Science. *Lewis Publishers*. 263-275.
- Goldstein, A.H., Liu, S.T. (1987). Molecular cloning and regulation of a mineral phosphate solubilizing (mps) gene from *Erwinia herbicola*. *Biotechnology*. 5 (72), 4.
- Goyal, S. M. y Gerba, C. P. (1979). Comparative adsorption of human enteroviruses, simian rotovirus and selected bacteriophages to soils. *Applied Environment Microbiology* 38, 241-247.
- Gyaneshwar, P., Naresh Kumar, G., Parekh, L.K. & Poole, P.S. (2002). Role of Soil microorganisms in improving nutrition of plants. *Plants and Soil*, 245, 83-93.
- Hernández, A. et al. (2015). *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*. La Habana, Cuba: Instituto de Suelos
- Hernández, A., Ascanio, M.O., Morales, M. & Bojórquez, J.I. (2006). *El suelo: fundamento sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Nayarit, México: Universidad Autónoma de Nayarit (UAN) e INCA.
- Hernández, A., Morales, M., Borges, Y., Vargas, D., Cabrera, J. A., Ascanio, M. O., Ríos, H., Funes, F., Bernal, A. & González, P. J. (2014). Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la "Llanura Roja de La Habana" por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Mayabeque, Cuba: INCA, 156.
- Hernández, A., Paneque, J., Pérez, J. M. & Mesa, A. (1995) *Manual para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos*. Instituto de Suelos.
- Hernández-Flores, L., Munive-Hernández, J.A, Sandoval-Castro, E., Martínez-Carrera, D. & Villegas-Hernández, M.C. (2013). Efecto de las prácticas agrícolas sobre la población bacteriana del suelo en sistemas de cultivo

- en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), 353-365
- Herrera, T., Ulloa, M. (1990). El Reino de los Hongos. México. Ed. U.N.A.M. y Fondo de Cultura Económica.
- Horwitz, W. (2005). Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists, AOAC International. Arlington Virginia, USA. Recuperado de: <http://www.eoma.aoac.org/>
- Huerta, E et al. (2008). Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*, 26 (2), 171.
- ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Produmedios, Santafé de Bogotá. Colombia.
- Illmer, P., Schinner, F. (1992). Solubilization of inorganic phosphates by Instituto de Suelos. (2010). *Instrucciones Metodológicas para el trabajo de Suelos en los Polígonos Demostrativos*. Cuba: La Habana: Instituto de Suelos.
- James, W., Moir, B. (2011). Nitrogen cycling in Bacteria Molecular Analysis. Reino Unido: Editorial Caister Academic Press.
- Jaramillo, D.F. (2002). Introducción a la Ciencia del suelo. Facultad de Ciencias .Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Colombia. 619
- Jones, D.L. (1998). Organic acids in the rhizosphere - a critical Review. *Plant Soil*, 205, 25-44.
- Jordan, A. (2005). *Manual de Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. España.
- Kaur, G., Reddy, M.S. (2014). Influence of P-solubilizing bacteria on crop yield and soil fertility at multilocal sites. *European Journal of Soil Biology*. 61, 35-40.
- Kauwenbergh, S.J.V. (2010). World phosphate rock reserves and resources. International Fertilizer Development Center (IFDC), Alabama, USA.
- Kumar V, Behlirk, Narulan. (2001). Establishment of phosphate solubilizing Lambers, H., Shane, M.W., Cramer, M.D., Pearse, S.J. & Veneklaas, E.J. (2006). Root structure and functioning for efficient acquisition of phosphorus: matching morphological and physiological traits. *Annals Bot*: 98,693-713.
- López, M. J. D., Figueroa, V. R., Zúñiga, T. R., Preciado, R. P. & Chavarría, G. J. A., Gómez Palacio, Durango, México. 259-275
- Madigan, T.M. (2004). Brock-Biology of Microorganisms: Editions Pearson Education.
- Mahecha, S. (2011). Comparación de la densidad y actividad bacteriana fijadora libre de nitrógeno entre tres usos de suelo (cuenca del otún, risaralda). Tesis inédita. Bogotá: Colombia.
- Manrique, L. A., Jones, C. A. (1991). Bulk Density of Soils in Relation to Soil Physical and Chemical Properties. *Soil Science Society of América Journal*, 55, 476-481.
- Martin, N., y Adad, I. (2006). *Generalidades más importantes de las ciencias del suelo*. En: Disciplina Ciencias del Suelo. (Tomo I). Pedología.

- Universidad Agraria de La Habana. Cuba.
- Martínez-Viera, R., López, M.; Brossard, M., Tejeda, G., Pereira, H., Parra, C., Rodríguez, S. & Alba, A. (2006). *Procedimientos para el estudio y fabricación de biofertilizantes bacterianos*. Maracay. Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Mayea S., Novo S.R, Valin0, A., (1982). *Introducción a la microbiología del suelo*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación
- Meiklejon, (1957). 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.
- Melo, R. (2006). *Bioquímica de los procesos metabólicos*. México: Editorial Reverté. Xochimilco, 364.
- Microkit39_es. Laboratorios Micro kit. Recuperado de: w.w.w.laboratoriosmicrokit.blogspot.com Descargado el 23-5-2017,14:57 pm.
- microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 24, 389-395.
- Moreno, Z. (2000). *Correlación de la tasa de crecimiento radial y la tasa de crecimiento específico de hongos filamentosos aislados de la planta Espeletia barclayana*. (Tesis de Grado). Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.
- Nannipieri, P. et al. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science.* 54, 655.
- Navarro, S., Navarro, G. (2003) *Química Agrícola. El Suelo Y Los Elementos Químicos Esencias Para La Vida Vegetal*. Mundi-Prensa Libros. España.
- Nieder, R., Benbi, D. (2008). *Carbone and nitrogen in the terrestrial environment*. Editorial Springer Science Business Media. Devon, Inglaterra, 430.
- Novo,R. (2007).Apuntes sobre biología del suelo. La Habana. Cuba: Editorial Félix Varela.
- Odum, E.P., BarreT, G.W. (2005). *Fundamentals of Ecology*. (5ed) Belmont, CA.
- Ojeda, L., Oropesa, A., Castañeda, I., Eupierre, H. & Chirino, V. (2007). Geomorfología, propiedades físicas y principales componentes de la fertilidad del suelo en un bosque semidesiduo mesófilo natural y en zonas de colecciones de plantas del Jardín Botánico de Cienfuegos. *Centro Agrícola*, 34(3), 21-27.
- Olander, L.P., Vitousek, P.M. (2000). Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability. *Biogeochemistry*, 49(2), 175-190.
- Orberá, T., Pérez, I., Ferrer, D., Cortés, N. & González, Z. (2005). Aislamiento de cepas de Bacillus sp con potencialidades para la bioprotección y la estimulación del crecimiento vegetal. *RevCub Quím.* XVII (1), 189-95.
- Orians, G.H., Dirzo R. & Cushman, J.H. (1996). Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests, *Ecological Studies*. 122. New York: Springer-Verlag.

- Palm, C., Sanchez, P., Ahamed, S. & Awiti, A. (2007). Soils: A Contemporary Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*. 32(1), 99-129.
- Palm, Ch., Swift, M. & Barois, I. (2001). *Un enfoque integrado para el manejo biológico de los suelos*. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programas y resúmenes. Cuba. Editorial. Sociedad Cubana de Ciencia del Suelo, 230.
- Park, K.H., Lee, O.M., Jung, H.I., Jeong, J.H., Jeon, Y.D., Hwang, D.Y., Lee, C.Y. & Son, H.J. (2010). Rapid solubilization of insoluble phosphate by a novel environmental stress-tolerant *Burkholderia vietnamiensis* M6 isolated from ginseng rhizospheric soil. *Appl. Microbiol Biotechnol*, 86, 947-955.
- Paul, E.A. (2007). *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. Boston: Academic Press. Amsterdam.
- Pelczar, M., Reid. (1996). *Microbiología*. (4ed). México D.F: Editorial McGrawHill.
- Pieri, C. (1989). Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, France.
- Pinot, R. H. (2000). *Manual de Edafología*. Chile: Computec.
- Poonguzhali, S., Madhaiyan, M. (2008). Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing Bacteria from Chinese Cabbage and Their Effect on Growth and Phosphorus Utilization of Plants. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 18(4), 773-7.
- Porta, J. (2003). *Edafología: para la agricultura y el medio ambiente*. (3ed). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Raiesi, F. (2006). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping. *Systems may favor microbial indicators of spoil quality in Central Iran*. *Science Direct*. 121, 309-318.
- Ramírez, L. (2000). *Manual de Microbiología*. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de Química. Pereira, Colombia.
- Ramírez, M. (2004). Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. En: Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Rodríguez, H., Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*. 17, 319–339.
- Rodríguez, R.Y., Paredes, R.E., Oviedo, P.R. & Gutiérrez, A.J.R. (2014). *Multimedia Manejo de Arvenses en Cultivos Agrícolas de Cuba*.
- Roig y Mesa, Juan Tomas. (2014). *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*. Cuarta edición (Editorial Científico-Técnica, 897.
- Rover, M., Kaiser, E. (1999). Spatial heterogeneity within the plough layer: low and moderate variability of soil properties. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 93- 104.
- Rubio A., Gattorno, S., Fernández, O., Cupull, R. & Torres, R. (2012). El manejo tecnológico de los sistemas agrícolas y su influencia sobre indicadores biológicos de los suelos pardos mullidos carbonatados. *Centro Agrícola, abril-junio, ISSN Papel: 0253-5785 ISSN On Line: 2072-*

2001. *Facultad De Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" De Las Villas*, 39(2), 35-38.
- Rueda- Puente, O. E., Murillo- Amador, B., García- Hernández, J. L., Barrón- Hoyos, J. M., Precio- Rangel, P. & Tarazón-Herrera, M. A. (2009). Capítulo XII: las bacterias promotoras del crecimiento vegetal como biofertilizantes en ambientes áridos-salinos. In: agricultura orgánica. Orona, C. I., Salazar S. E., Fortis, H. M., Trejo, E. H., Vázquez, V. C., Schlegel, H. G. (1997). *General Microbiology*. New York. USA. Ed. Cambridge University Press.
- Schoenholtz, S.H., Miegroet, H.V., Burger, J.A. (2001). *A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities*. *Forest Ecology and Management*, 138-335.
- Sharan, A., Shikha, S.D.N. & Gaur, R. (2008). *Xanthomonas campestris*, a novel stress tolerant, phosphate-solubilizing bacterial strain from saline-alkali soils. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 24(6), 753
- Siavosh, S., Rivera, J. M. & Gómez, M. E. (1999). Impacto De Sistemas De Ganadería Sobre Las Características Físicas, Químicas y Biológicas De Suelos En Los Andes De Colombia. *Conferencia Electrónica De La Fao Sobre "Agroforestería Para La Producción Animal En Latinoamérica*.
- Simard, S.W., Durall, D.M. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82 (26).
- Socarrás, A., Robaina, N. (2011). Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa. *Pastos y Forrajes*, 34-185
- Soto, G. (2006). *Calidad de los suelos: una nueva visión del suelo*. I Congreso Latinoamericano de Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. Managua, Nicaragua.
- Sparling, G. (1992). Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon is sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30, 195-207.
- Sperber J. (1958). The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. *Austr J Agric Res*. 9, 778-81.
- Stenrod, M., Charnay, M., Benoit, P. & Eklo, O. (2006). Spatial variability of glyphosate mineralization and soil microbial characteristics in two Norwegian sandy loam soils as affected by surface topographical features. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, 38.
- Stevenson, F.J., Cole, M.A. (1999). *Cycles of Soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. 2nd Edition. Wiley. New York.
- strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under greenhouse conditions. *Microbiologic. Res*. 156, 87-93.
- Sylvia, D.M. (1999). *Principles and aplicaciones of soil microbiology*. United States of America. Hall Inc, 480.
- Thompson., Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Revert S A. Barcelona. España. 135-169.
- Trasar., Gil, F.L. (2000). Biochemical lproperties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-

- humidzone (Galicia, NW Spain): specific parameters *Soil Biology & Biochemistry* 32, 747-755.
- Turbé, Anne (2010). Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. BioIntelligence Service, IRD, NIOO. Report for European Commission DG Environment, 14.
- Urzúa, H. (2005). Beneficios de la fijación simbiótica de N₂ en Chile. *Cien. Inv. Agr.* 32(2), 133-150.
- Useche, Y.M., Col. (2004). Caracterización de bacterias y hongos y bacterias solubilizadoras de fósforo bajo tres usos d suelo. *Acta biológica Colombia*, 9(2), 129.
- Vargas, A., Villamizar, D. (2005). Estudio preliminar de la producción, extracción y purificación de T2 toxina por *Fusariums porotrichioides* NRRL3299 en dos medios sintéticos. (Tesis de grado). Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 172.
- Verssey, J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as fertilizers. *Plant Soil*, 255, 571-586.
- Villegas, M. C., Munive, A. (2005). Taxonomía y genética de la nodulación de los rhizobia, el grupo más importante de fijadores simbióticos de nitrógeno. *Biótica*, 2(1), 55-106.
- Vitousek, P.M. (1984). Litterfall, Nutrient Cycling, and Nutrient Limitation in Tropical Forests. *Ecology*, 65(1), 285-298.
- Volke, T., Velasco-Trejo, J.A. & de la Rosa Pérez, D.A. (2005). Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. *Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología, Impreso en México*, 19-31.
- Weir, B. S. (2011). The current taxonomy of rhizobia. New Zealand rhizobia website. 445 Recuperado de <http://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia.html>. Last updated.
- Whitman, W., Coleman. D., Wiebe, W. (1998). «Prokaryotes: the unseen majority». *Proc Natl AcadSci U S A*.95 (12), 6578 – 83. PMID 9618454.
- 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
- Melgar, R., Zorita, M. (2008). La fertilización de cultivos y Pasturas. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur S.A.
- Wild, A. (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo del plan Praha*, 420 s. *Tas según Russell*. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Prensa. Madrid. España, 1045
- Zabala y Gómez (2010). Biomasa fúngica y bacteriana como indicadores del secuestro de C en suelos de sabanas sustituidos por pinares en Uverito, Venezuela. *RevBiolTrop*, 58 (3), 977-989.
- Zehr, J.P., Jenkins, B. D., Short, S. M. & Steward, G. F. (2003). Nitrogenase gene diversity y microbial community structure: across-system comparison. *Environ. Microbiol*, 5, 539-554.

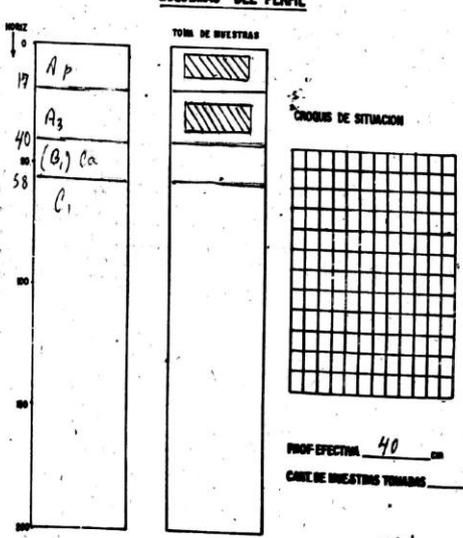
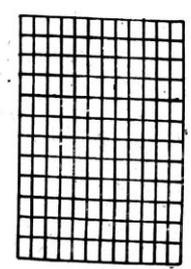
Zhang, H., Huang, Y (2010). Analysis of the contribution of acid phosphatase to P efficiency in *Brassica napus* under low phosphorus conditions. *Science China - Life Sciences*. 53, 709-17.

Anexo.1

Perfil del suelo estudiado 1

INFORMACION GENERAL DEL PERFIL		SUELOS Y FERTILIZANTES	
PAISAJE GENERAL		PROVINCIA <u>Ciudad Vieja</u>	
POSICION FISIOGRAFICA <u>Llanura Interior</u>	FORMA DEL TERRENO CIRCUNDANTE <u>Llanura Ondulada</u> FORMACION GEOLOGICA _____	EMPRESA <u>Jardin Botanico</u>	PERFIL N° _____
Miembra <u>Gómez</u> VEGETACION NATURAL <u>Cuiba umbrosifera, Mani-</u>	<u>no la sp. Sarracenia cajan</u> CULTIVOS ASOCIADOS _____	MUNICIPIO <u>Ciudad Vieja</u>	CONTROL N° <u>3</u>
AGRICULTURA TRADICIONAL <u>Bosque natural</u>	ESTADO FISICO DE LOS CULTIVOS <u>Buena</u>	HOJA CARTOGRAFICA <u>Pérez Ley</u>	COORDENADAS N _____ E _____
SITUACION LOCAL		N° _____ FOTO N° _____ PROYECTO _____	LÍNEA DE VUELO _____ FECHA <u>20/11/16</u>
PENDIENTE MAXIMA <u>4.0</u> % MINIMA <u>2.1</u> % PREDOMINANTE <u>3.0</u> %	EXPOSICION DE LA PENDIENTE <u>N-S</u> EROSION _____	AUTOR <u>J. Guillot, M. Fuentes, C.</u>	
MICRO RELIEVE <u>Llano</u> ALTITUD EN m _____	LIMITANTES SUPERFICIALES <u>Piedras, Raíces</u>	ESQUEMAS DEL PERFIL	
ESTADO HIDRICO DEL SUELO			
DRENAJE SUPERFICIAL <u>Buena</u> INTERNO <u>Buena</u> GENERAL <u>Buena</u>	NIVEL FREATICO EN m _____ CALIDAD DELAS AGUAS <u>Buena</u>	PROF. EFECTIVA <u>59</u> cm CANT. DE MUESTRAS TOMADAS _____	
HUMEDAD GENERAL DEL PERFIL <u>Húmeda</u> DIA LLUVIOSO _____	DIA NUBLADO _____ DIA CLARO <u>X</u>	X A3+7.5 Perfil 59 t ₄ C ₄ E ₂	
ROCA MADRE O FORMADORA		CLASIFICACION	
I <u>X</u> II <u>X</u> III _____	CONCLUSIONES		AGRUPAMIENTO <u>Pardo</u> TIPO <u>Pardo con Carbonatos</u>
INTERPRETACION MORFOLOGICA DEL PERFIL (CARACTERISTICAS GENERALES) <u>Suelo de color pardo oscuro profundo, con reacción (A) al HCl en profundidad, abundante contenido de H₂O, en algunas zonas alto contenido de Rocas</u>		SUB-TIPO <u>Típico</u>	
INTERPRETACION AGRONOMICA (APTITUD PARA LOS CULTIVOS Y RECOMENDACIONES) <u>Apto para especies forestales: Arqueño o No exigentes</u>		GENERO <u>Tanea Intermedia más Caliza suave, Carbonato lavado</u> ESPECIE <u>Pardo muy húmeda, muy lavado</u> VARIEDAD <u>Agriella</u> <u>Muy pedregosa, muy Rocosa</u>	

Perfil del suelo estudiado 2

INFORMACION GENERAL DEL PERFIL		SUELOS Y FERTILIZANTES	
PAISAJE GENERAL		PROVINCIA <u>Cienfuegos</u>	
POSICION FISIOGRAFICA <u>Havana Interior</u>	FORMACION GEOLOGICA _____	EMPRESA <u>Fibra La Victoria</u>	PERFIL N° _____
FORMA DEL TERRENO CIRCUNDANTE <u>Ligeramente Ondulado</u>	VEGETACION NATURAL <u>Don Carlos, Dorsideros, Pasto estrella, Malvas, Orina blanca</u>	MUNICIPIO <u>Cienfuegos</u>	CONTROL N° <u>1</u>
AGRICULTURA TRADICIONAL <u>Caña de Azúcar</u>	CULTIVOS ASOCIADOS <u>Yuca, Maíz</u>	HOJA CARTOGRAFICA <u>Leito Teo</u>	COORDENADAS UTM _____ E _____
ESTADO FISICO DE LOS CULTIVOS <u>Buena</u>		N° _____ FOTO N° _____ PROYECTO _____	LÍNEA DE VUELO _____ FECHA <u>20/10/2016</u>
SITUACION LOCAL		AUTOR <u>N. Buillo, H. Fuentes, C</u>	
PENDIENTE MAXIMA <u>4.0</u> % MINIMA <u>2.1</u> % PREDOMINANTE <u>4.0</u> %	EROSION <u>Mediana</u>	ESQUEMAS DEL PERFIL 	
EXPOSICION DE LA PENDIENTE <u>N-S</u>	MICRORELIEVE <u>Llano</u>		
LIMITANTES SUPERFICIALES <u>Erosion - algunas</u>	ALTIMUD EN m _____		
ESTADO HIDRICO DEL SUELO			
DRENAJE SUPERFICIAL <u>Buena</u> INTERNO <u>Buena</u> GENERAL <u>Buena</u>	NIVEL FREATICO EN m _____ CALIDAD DE LAS AGUAS <u>Buena</u>	CROQUIS DE SITUACION  PROF. EFECTIVA <u>40</u> cm CANT. DE MUESTRAS TOMADAS _____	
HUMEDAD GENERAL DEL PERFIL <u>La humeda</u> DIA LLUVIOSO _____	DIA NUBLADO _____ DIA CLARO <u>X</u>	CLASIFICACION <u>XA3t4</u> <u>pA3t4</u> <u>40 t4</u> <u>f x w3</u>	
ROCA MADRE O FORMADORA		AGRUPAMIENTO: <u>Pardo</u> TIPO <u>Pardo con Carbonatos</u> SUB-TIPO <u>Tipico</u> GENERO <u>Jana Intermedia + Caliza Suave carbonatada Lavada</u> ESPECIE <u>Profunda, Poco humificada, UNMEDIO, gran arenilla, poco Melina oxidada, Muy Lavada granillos, mediana, pedregosos</u>	
CONCLUSIONES			
INTERPRETACION MORFOLOGICA DEL PERFIL (CARACTERISTICAS GENERALES) <u>Suelo de color pardo claro con tonalidades rojizas debido a la EROSION profunda, presencia (S) de Hcl en profundidad, Buen Drenaje interno y General</u>			
INTERPRETACION AGRONOMICA (APTITUD PARA LOS CULTIVOS Y RECOMENDACIONES) <u>Apto para el establecimiento de cultivos varios como - Yuca, Maiz, Pajal, Soria, tomate</u>			

Medio de cultivo Pikovskaya-agar modificado (Nopparat et al., 2009)

- ✓ (NH₄)₂SO₄--- (0.5 g)
- ✓ KCl ---(0.2 g)
- ✓ MgSO₄x7H₂O--- (0.1 g)
- ✓ MnSO₄.H₂O ---(0.004 g)
- ✓ NaCl--- (0.2 g),
- ✓ D-Glucosa ---(10 g),
- ✓ FeSO₄.7H₂O--- (0.002 g)
- ✓ extracto de levadura ---(0.5 g)
- ✓ cloranfenicol--- (0.1 g)
- ✓ agar ---(18 g, Bioxon)
- ✓ agua destilada ---(900 mL)

Medio de cultivo Asbhy (Franco (2008)

- ✓ Sacarosa---10 g
- ✓ Fosfato monobásico de potasio--- 0.2 g
- ✓ Sulfato de magnesio--- 0.2 g
- ✓ Cloruro de calcio--- 0.2 g
- ✓ Sulfato de calcio ---0.2 g
- ✓ Carbonato de calcio ---5 g
- ✓ Agar Agar*--- 20 g

Medio de cultivo Rosa bengala

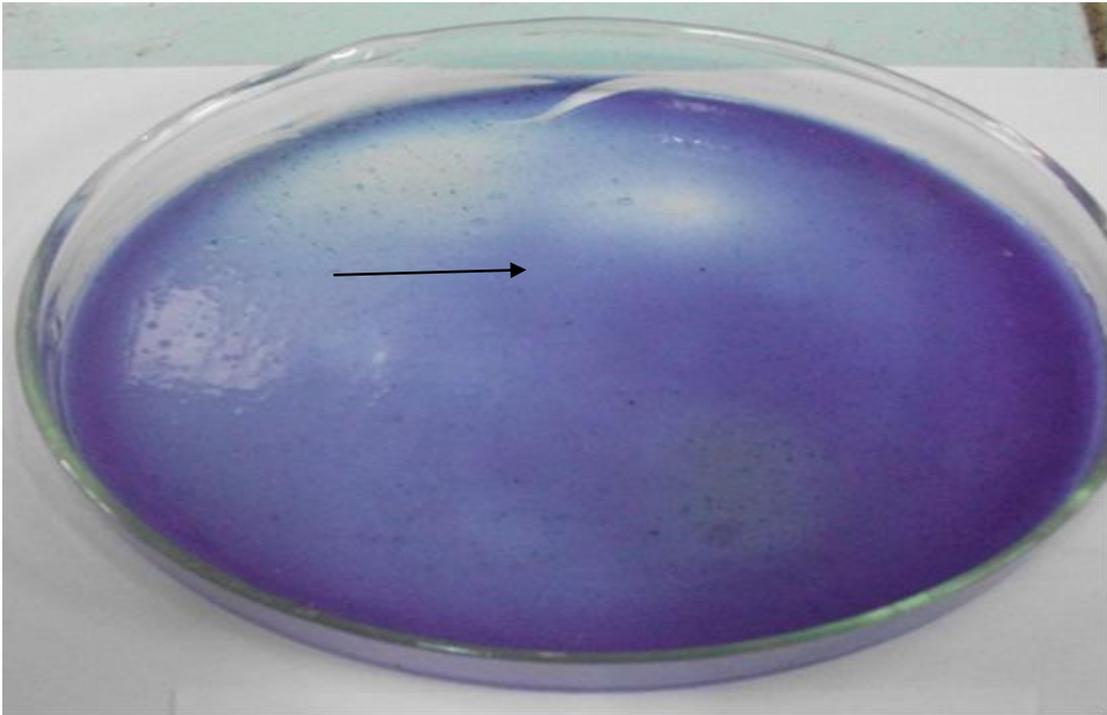
- ✓ Glucosa---10g
- ✓ Nitrato de sodio---1g
- ✓ Fosfato dipotásico---1g
- ✓ Extracto de suelo---1Lt
- ✓ Rosa bengala---0,07g

✓ Agar--- 15g

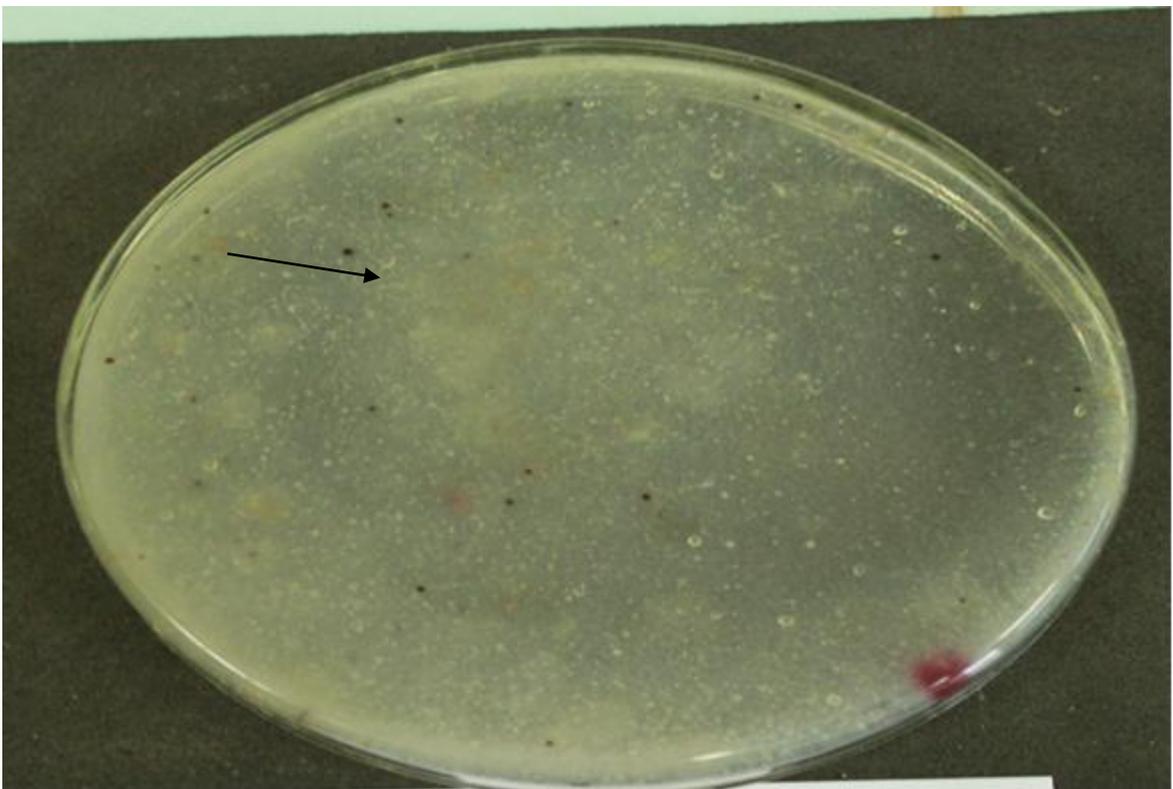
Los medios de cultivo se esterilizaron en autoclave durante 15 min a 1 atm y 121 °C.

Anexo.4

Bacterias Solubilizadoras de Fósforo



Bacterias Fijadoras de Nitrógeno



Anexo.5

Hongos

