

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES y AGROPECUARIAS**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero
Agrónomo**

Título: Caracterización hidropedológica de los suelos Ferríticos
Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí bajo diferentes usos de la
tierra

Autor: Disney Manuel Pérez Salvia

Tutor: M.Sc. Juan Alejandro Villazón Gómez

Curso 2020-2021

RESUMEN

El trabajo se llevó a cabo en Pinares de Mayarí, provincia de Holguín, con el objetivo de evaluar las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí bajo diferentes usos de la tierra. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado en cuatro usos de la tierra en los horizontes A1, A3 y B1. Los usos escogidos fueron *Caña de azúcar*, *Pasto natural*, *Bosque de pinos* y *Bosque mixto*. Se realizó un Análisis de Varianza de clasificación simple mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 95% de probabilidades, para determinar si el conjunto de tratamientos considerados produce un efecto estadísticamente diferenciado en cuanto al comportamiento de los mismos en cada una de las variables analizadas. Los mayores volúmenes específicos total, de aire y poral, una menor densidad del suelo y mayor porosidad total, así como una mejor relación de macroporos y microporos indican que en los suelos bajo los usos *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* los procesos asociados con la degradación física tuvieron una menor influencia al ser comparados con los usos bajo gramíneas. Estos resultados indican que en los suelos bajo los usos *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* existe menos compactación, menor resistencia del suelo a la penetración, mejor aireación, mayor retención de humedad y adecuada conductividad hidráulica. Estos cambios se relacionan, en dependencia del uso de la tierra, con los contenidos de inclusiones, tipo, cantidad y lugar de la deposición de restos vegetales.

ABSTRACT

The work was carried in Pinares de Mayarí, Holguín province, with the objective of evaluating the hydropedological characteristics of the Dark Red Ferritic soils typical of Pinares de Mayarí under different land uses. Stratified random sampling was conducted on four land uses in horizons A1, A3, and B1. The chosen uses were sugar cane, natural pasture, pine forest and mixed forest. A simple classification Analysis of Variance was performed using Duncan's multiple range test at 95% probability, to determine if the set of treatments considered produces a statistically differentiated effect in terms of their behavior in each of the variables analyzed. The higher specific total, air and pore volumes, a lower soil density and higher total porosity, as well as a better ratio of macropores and micropores indicate that in the soils under the uses Pine Forest and Mixed Forest the processes associated with degradation physics had a lesser influence when compared to the uses under grasses. These results indicate that in the soils under the Pine Forest and Mixed Forest uses there is less compaction, less resistance of the soil to penetration, better aeration, greater moisture retention and adequate hydraulic conductivity. These changes are related, depending on the use of the land, with the contents of inclusions, type, quantity and place of the deposition of plant remains.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
I.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
I.1.- Los suelos Ferríticos	4
I.1.1.- Distribución y extensión	5
I.1.2.- Geología y geomorfología	6
I.1.3.- Vegetación	6
I.1.4.- Clima	7
I.1.5.- Edad de los suelos.....	7
I.1.6.- Proceso de formación	7
I.1.7.- Propiedades de los suelos Ferríticos	8
I.2.- Cambios en las propiedades de los suelos según el tipo de cobertura vegetal.....	8
I.3.- El agua en el suelo	11
I.3.1.- Clasificación física del agua	13
I.3.2.- Clasificación biológica del agua.....	14
I.4.- Algunas propiedades de los suelos que influyen en el comportamiento de las propiedades hidropedológicas	15
I.4.1.- Estructura del suelo.....	15
I.4.2.- Textura.....	16
I.4.3.- Densidad del suelo.....	17
I.4.4.- Porosidad del suelo	18
II.- MATERIALES Y MÉTODOS	20
II.1.- Características de la zona	20
II. 2.- Selección y muestreo de las áreas	21
II.3.- Descripción de los usos de la tierra	23
II.4.- Caracterización hidropedológica.....	24
II.5.- Análisis estadístico	25
III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
III.1.- Caracterización hidropedológica.....	26
III.1.1.- Masa de sólidos	26
III.1.2.- Volumen de suelo.....	30
III.1.3.- Volumen de sólidos.....	38
IV.- CONCLUSIONES	42
V.- RECOMENDACIONES	43

VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
VII.- ANEXOS.....	54

INTRODUCCIÓN

En las zonas tropicales de nuestro planeta la productividad de los suelos depende del tipo de manejo que se realice (Amberger, 2006). A esto se le suma el hecho de que la población es el factor determinante en los requerimientos de productos agrícolas (International Fertilizer Industry Association Task Force on Reactive Nitrogen, 2007). Además, el vertiginoso crecimiento demográfico mundial de los últimos años, ha acelerado la demanda de alimentos y agua, lo cual causa grandes efectos sobre los suelos que traen como resultado procesos acelerados de degradación asociados, entre otras causas, a prácticas agronómicas inadecuadas (Plá, 2009).

En apariencia, América Latina posee un amplio fondo de tierras aprovechables en actividades agrícolas; sin embargo, también aquí, en el futuro, las presiones socio-económicas y poblacionales en determinadas áreas del continente, no permiten prever ni siquiera la satisfacción de las necesidades alimentarias crecientes de estas poblaciones (FAO, 1987).

Los procesos de formación de suelos se desarrollan bajo determinados factores, entre los cuales se encuentra la vegetación. Estos factores le dan al suelo una serie de características, las cuales cambian cuando alguno de los factores sufre una alteración con respecto a sus condiciones originales (Jaramillo, 2002). Los cambios que se generan en los suelos, al cambiar su cobertura vegetal típica por otra, entendiéndose uso de la tierra, se reflejan en las propiedades químicas y físicas de los mismos (Paz *et al.*, 2000).

Es importante conocer las características físicas de los suelos pues el uso que el hombre pueda darle al suelo depende, en buena parte, de las propiedades físicas del mismo. Estas determinan el grado de sostén, la profundidad de penetración de las raíces, la aireación, el movimiento del agua, la plasticidad y la retención o el lavado de los nutrientes (Rucks *et al.*, 2004). Dentro de las propiedades físicas, la retención de agua en el suelo es de gran importancia para conocer las necesidades hídricas de las plantas, la infiltración, el drenaje, la conductividad hidráulica, el riego, el estrés hídrico de las plantas y el movimiento de los solutos (Kern, 1995).

Los suelos Ferríticos, también conocidos como Oxisoles (Soil Survey Staff, 1999; Soil Survey Staff, 2010) o Ferralsoles (FAO-UNESCO, 1989), se han formado a partir de rocas ultrabásicas, como resultado de transformaciones químicas propias de las regiones tropicales o subtropicales húmedas o de humedad variable (Kaúrichev *et al.*, 1984; Soil Survey Staff,

1999). Los mismos son suelos zonales (Aleva, 1994) que presentan una alteración muy intensa de los minerales primarios.

La pérdida casi total de la sílice y un elevado contenido, por encima del 50%, de sesquióxidos de hierro y aluminio con presencia de hematita, goetita, gibsitita y otros minerales secundarios arcillosos del tipo 1:1 hace que tengan una relación sílice:sesquióxidos por debajo de la unidad (Hernández *et al.*, 1975; Baisre y Cárdenas, 1984; Hernández *et al.*, 1999). Se caracterizan, además, por su baja Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y por el alto nivel de acidez (Instituto de Suelos, 1973; Hernández *et al.*, 1975; Hernández *et al.*, 1999; Morales *et al.*, 2001).

En cuanto a la retención de humedad se comportan, a bajas tensiones, de forma similar a un suelo arenoso, pues en un rango corto de tensión pierden agua con gran rapidez. A los Ferríticos, a pesar de tener tanta o más arcilla que los Vertisoles, la composición de los óxidos de hierro les confiere una mejor estructura, la cual deja un espacio poroso abundante entre los agregados, que es por donde se pierde el agua a bajas tensiones (Jaramillo, 2002).

Su principal proceso de formación ha sido la ferritización desarrollada en un medio rico en hierro total (Cuéllar *et al.*, 2002). Constituyen el agrupamiento de suelos de mayor intemperismo (Ségalen, 1973); encontrándose en un estado superior de evolución en sus diferentes fases de desarrollo (Bennett y Allison, 1966). Se caracterizan además por un régimen de humedad del suelo que puede ser arídico, perúdico o ácuico. Por lo que los tipos de vegetación van desde selvas lluviosas forestales hasta sabanas desérticas (Soil Survey Staff, 1999).

Estos suelos ocupan amplias zonas de las franjas tropicales y subtropicales de nuestro planeta. En Cuba se encuentran distribuidos principalmente en las zonas montañosas de la provincia de Holguín (Instituto de Suelos, 1973). Desde finales del siglo XX en la región han ocurrido cambios en los usos de la tierra, los cuales están dados fundamentalmente por la disminución de las áreas boscosas (principalmente las dedicadas al *Pinus cubensis*) debido a la explotación maderera, los incendios forestales y el aprovechamiento económico de nuevas áreas de concesión minera para la extracción de níquel. También extensiones de tierra relativamente considerables dedicadas antaño al café han perdido su valor económico.

De esta forma se reconoce el Problema científico que a continuación se expone

Problema científico

¿En qué medida diferentes usos de la tierra inducen cambios en las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos?

Como posible respuesta al problema científico nos planteamos la siguiente hipótesis.

Hipótesis

El uso de la tierra influye en el comportamiento de las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos.

Para la solución del problema nos trazamos los objetivos que a continuación se detallan:

Objetivo general

Evaluar las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí bajo diferentes usos de la tierra.

Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar el comportamiento de las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí.
- ❖ Evaluar el efecto de usos forestales de pinos, forestales mixtos, pastos naturales y caña de azúcar sobre las características hidropedológicas de estos suelos.

Aporte teórico

Brinda información actualizada sobre las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí y su comportamiento bajo el efecto de diferentes usos de la tierra, información particularmente escasa o ausente sobre los suelos más evolucionados de Cuba.

Aplicación práctica

Se aporta información actualizada relacionada con las características hidropedológicas de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos bajo diferentes usos de la tierra que puede servir como material de consulta para estudiantes, especialistas y productores.

I.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

I.1.- Los suelos Ferríticos

En Cuba, los suelos Ferríticos se desarrollan sobre rocas ígneas ultrabásicas serpentinizadas que han sufrido un severo metamorfismo. La edad de estos macizos ultrabásicos constituidos por peridotitas, en las que juegan un papel fundamental las hartzburgitas, se remonta al Cretáceo superior. Son suelos maduros, bien desarrollados, donde el ciclo geológico ha superado al biológico (Instituto de Suelos, 1973).

La Dirección General de Suelos y Fertilizantes (1985) plantea que estos suelos se caracterizan por ser de color rojo, profundos, con una vegetación característica, un contenido de Fe y Al muy alto y tenores variables de perdigones o concreciones de hierro. Tienen entre sus principales factores limitantes el concrecionamiento, la compactación, la acidez, la baja fertilidad y poca retención de humedad (Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 1996; Cuéllar *et al.*, 2002; Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 2007).

Estas características provocan, entre otros efectos negativos, la atrofia y disminución de la cantidad de raíces, disminución de la aireación, poca capacidad de absorción, retención de agua y nutrientes, empobrecimiento de los suelos y disminución de la fertilidad y la limitación de la profundidad efectiva (Cuéllar *et al.*, 2002).

Mesa *et al.* (1982), al valorar 121 series de suelos cubanos y agruparlos en cuatro categorías según el potencial productivo de los mismos de forma general y en términos relativos, no solo con respecto a un cultivo particular sino a la productividad del área como un todo, determinaron que en los suelos de la serie Nipe (Ferríticos) el frijol y el mango, se consideran medianamente aptos (entre el 50 y el 70% de potencial agroproductivo). Como mediocres con fuertes limitaciones (30-50%) se contemplan los cultivos de aguacate, ajo, café bajo sol, cebolla, cítricos exigentes, frutabomba, guayaba, maní, melón, pastos exigentes, piña, plátano, sorgo y tomate. Mientras que son inadecuados (pues se encuentran por debajo del 30% del potencial) para las plantaciones de arroz, boniato, caña de azúcar, kenaf, malanga, maíz, papa, tabaco y yuca.

Están afectados por la erosión hídrica, e incluso eólica. En el caso de la primera, el fuerte lavado de las partículas más finas ha provocado que queden las más groseras, con los altos

tenores de hierro (Fe) mencionados anteriormente (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1985). Las condiciones naturales que influyen en los procesos erosivos de los suelos de la Altiplanicie de Nipe son el relieve y microrrelieve, las condiciones pedológicas y geológicas, las condiciones climáticas e hidrológicas y la edad de los suelos de la región. Los tipos de erosión que se manifiestan en los Ferríticos de Pinares de Mayarí son la erosión laminar, en canales, piramidal superficial y en cárcavas (Hylsky, 1970).

También, según Geigel (1979), existen grandes áreas erodadas por la acción antrópica, fundamentalmente la industria extractiva de minerales, pues durante más de 70 años la actividad minera ha jugado un papel fundamental en la economía de la región, debido a los ricos yacimientos de hierro, níquel y cobalto existentes.

En la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, que combina los principios genéticos geográficos con los nuevos conceptos de horizontes y características de diagnóstico aparecen denominados como Ferríticos Rojos Oscuros (Hernández *et al.*, 1999). Su correlación con otras clasificaciones de suelos se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1.- Correlación aproximada de los Ferríticos Rojos Oscuros típicos con algunas clasificaciones nacionales e internacionales.

Clasificación	Nombre
Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández <i>et al.</i> , 1999)	Ferrítico Rojo Oscuro típico
Primera Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1973)	Latosol Rojo típico
Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández <i>et al.</i> , 1975)	Ferrítico Púrpura concrecionario
Clasificación de Bennett y Allison (Bennett y Allison, 1966)	Nipe
Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010)	Typic Eutrudox
Leyenda Revisada (FAO-UNESCO, 1989)	Rhodic Ferralsol

1.1.1.- Distribución y extensión

En el mundo abarcan amplias regiones en las llanuras interiores de América del Sur, las planicies del África central e importantes áreas de Asia, Australia y Oceanía. Están presentes,

además, en muchas islas ubicadas en las zonas tropicales y subtropicales del planeta, en el que ocupan una superficie de 9.61 millones de km² (FAO, 2006).

En el caso específico de Cuba, se encuentran ubicados en tres regiones: Meseta de Cajálbana (norte de la Sierra del Rosario, provincia de Pinar del Río), Pediplano de Camagüey y norte de la Sierra de Cubitas (provincia de Camagüey) y Pinares de Mayarí, Nicaro y Moa (nordeste de la provincia de Holguín) y abarcan una extensión aproximada de entre 1 772 y 1 800 km² (Instituto de Suelos, 1973).

1.1.2.- Geología y geomorfología

Durante los procesos de formación de suelos ha ocurrido una acción conjunta de los factores geológicos y geomorfológicos sobre las formaciones de rocas ultrabásicas (peridotitas, entre las cuales abundan las hartzburgitas) que se han metamorfoseado a serpentinitas. (Instituto de Suelos, 1973).

La meseta de Pinares de Mayarí, donde se encuentran los suelos Ferríticos, está ubicada en una zona de montañas bajas diseccionadas con una superficie de aplanamiento sobre restos de la corteza de intemperismo antigua (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1985). El Instituto de Suelos (1973) plantea que esta región está formada por complejos acumulativos de denudación en superficies antiguas de nivelación con alturas entre los 200-1200 msnm, donde los Ferríticos han ocupado, independientemente de la altura, todas las posiciones geomorfológicas estables existentes, excepto las de pendientes abruptas.

1.1.3.- Vegetación

Según la Dirección General de Suelos y Fertilizantes (1985), la vegetación está compuesta por pinos (*Pinus cubensis*) y helechos arborescentes (*Cyathea arborea*), espartillo común (*Sporolobus indicus*), pajón macho (*Sorghastrum stipoides*), yagruma (*Cecropia peltata*) y jiribilla (*Andropogon caricosus*). También pueden encontrarse latifolias (Instituto de Suelos, 1973) que forman bosques de galerías en los márgenes de los ríos.

En Cuba, los pinares deben ser considerados como formaciones extrazonales, cuya existencia está condicionada por los factores limitativos edáficos que impiden el establecimiento natural de formaciones de latifolias. En contacto con este tipo de bosque, los pinares pueden ocupar inicialmente las zonas desnudas, pero son posteriormente desplazados por las latifolias que se establecen bajo el dosel de los pinos. Una vez establecido el bosque de hojas anchas, el mismo

sustituye, a menos que ocurra un fenómeno natural o por la intervención del hombre, a la formación de pinos (Samek, 1969).

1.1.4.- Clima

Los suelos Ferríticos aparecen en la denominada Faja de Clima Tropical Húmedo, por encima de los 400 msnm (Vantour *et al.*, 2006). Anualmente caen entre 1 800-2 200 mm (Vantour *et al.*, 2001). El promedio de la suma anual de temperaturas (mayores de 10° C), se encuentra entre 8 000 y 8 500° C. En general, se mantienen las altas temperaturas durante todo el año, con un promedio anual de entre 25-27° C. Las abundantes precipitaciones, que varían de una localidad a otra debido a la influencia del relieve, constan de dos períodos estacionales, uno con abundantes precipitaciones y otro con escasez de lluvias. La humedad relativa es alta durante todo el año (Instituto de Suelos, 1973).

1.1.5.- Edad de los suelos

Son considerados como los más antiguos de Cuba. Por la potencia de sus horizontes y el grado de evolución y las características de algunos relieves geomorfológicos, puede deducirse que han estado en evolución desde, por lo menos, el Plioceno; y que en la actualidad existen todas las condiciones necesarias para que continúen su proceso de formación (Instituto de Suelos, 1973).

1.1.6.- Proceso de formación

El proceso de formación de estos suelos ha sido el de Ferritización que, al igual que la Alitización y Ferralitización, se debe a la acción enérgica y continua del intemperismo en las superficies estables y antiguas del paisaje de las regiones tropicales húmedas del planeta. Ocurre solamente a partir de rocas ultrabásicas serpentinizadas. El intenso intemperismo provoca la destrucción de los minerales primarios y el lavado de las bases cambiables, con una fuerte acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro, provenientes del material originario (Hernández *et al.*, 2006).

De esta forma, la sílice está fijada con otros minerales en la roca madre, y el cuarzo libre es casi inexistente. Durante el proceso de formación desaparece el MgO, cuyo contenido en la serpentina alcanza entre el 22-44%. Luego salen los demás óxidos y en la masa de suelo se

acumula principalmente el hierro en forma de minerales secundarios y óxidos libres (Cairo y Fundora, 2005).

1.1.7.- Propiedades de los suelos Ferríticos

Según Hernández *et al.* (2006), la acumulación intensa de los sesquióxidos de hierro, principalmente hematita y goetita, conlleva a una serie de propiedades muy específicas de los Ferríticos, entre las cuales tenemos el color rojo oscuro en todo el perfil del suelo; desarrollo sobre una corteza de intemperismo antigua; la formación de concreciones ferruginosas en forma de perdigones, que pueden alcanzar un contenido igual o mayor al 20%; capacidad de intercambio catiónico menor de 12 cmol(+) kg⁻¹; composición de minerales secundarios representada por hematita, goetita, un poco de gibsita y trazas de minerales del tipo 1:1; reacción poco ácida a neutra, con valores de pH en agua y KCl semejantes, a veces la acidez es menor en este último; estructura de agregados finos, friables, poca estabilidad; generalmente con un horizonte Bt y bajo contenido en potasio y fósforo, con muy alta capacidad de fijación de fósforo (ver anexos 1 y 2).

1.2.- Cambios en las propiedades de los suelos según el tipo de cobertura vegetal

Es importante preservar de la degradación a la fertilidad del suelo y la calidad del agua, pues ambos son vitales para la supervivencia del hombre. La degradación de los suelos es un problema global que se manifiesta en forma de erosión hídrica o eólica, salinización, acidificación, disminución de la fertilidad del suelo, contaminación y compactación. Algunas formas de degradación son irreversibles a corto plazo. La magnitud de la erosión hídrica, por ejemplo, depende de las propiedades edáficas y litológicas, del clima, la topografía y el uso de la tierra (Kirkby *et al.*, 2000). Este último factor es de gran importancia pues está vinculado directamente con el hombre (Abrishamkesh *et al.*, 2011).

La influencia del uso de la tierra sobre las propiedades morfológicas, físicas y químicas del suelo es un hecho comprobado desde hace mucho tiempo (Mudarra *et al.*, 1990). Según Cairo y Fundora (2005), desde las primeras décadas del siglo XX, se fundamentó por primera vez la importancia de la influencia antrópica como factor de formación de los suelos pues, la utilización de los mismos para la agricultura tiene notable influencia en su formación natural y sus propiedades.

Jaramillo (2002) relaciona algunas actividades antrópicas y su efecto (perjudicial o beneficioso) sobre el suelo. Entre ellas, “el uso irracional (tipo y/o intensidad de uso no adecuados a las posibilidades del suelo) genera un deterioro severo en sus propiedades, lo que se refleja en una pérdida de productividad y de cobertura vegetal, aumentando la susceptibilidad a la erosión; la aplicación intensiva de insumos a un suelo con baja productividad puede generar problemas de contaminación, tanto del suelo mismo, como de otros recursos como el agua”.

El cambio de uso provoca modificaciones en las propiedades del suelo (Soane, 1990). Las labores agrícolas para desmontar y preparar el suelo para los diversos cultivos, son responsables de dichos cambios; los cuales, con frecuencia, pueden causar degradación y disminuir la productividad de las plantaciones (Buol y Stokes, 1997). Los suelos que en estado natural mantienen una vegetación autóctona, presentan características físicas adecuadas al normal desarrollo de las plantas (Andreola *et al.*, 2000). Cuando el uso del suelo cambia hacia las explotaciones agrícolas ocurre una modificación drástica en sus propiedades físicas, que alteran desfavorablemente el crecimiento vegetal (Spera *et al.*, 2004).

Bennett y Allison (1966) encontraron en Cuba, en 1928, ejemplos de sitios que soportaban una buena cobertura vegetal y que, al ser dedicados posteriormente al cultivo intensivo de la caña de azúcar, mostraron en un corto período de tiempo, una acusada decadencia de los rendimientos agrícolas. Debiéndose en la mayoría de los casos al deterioro de la condición física del suelo.

Villegas *et al.* (1998) realizaron una evaluación del comportamiento de propiedades físicas y químicas en Ferralsoles y Vertisoles cubanos, dedicados durante un período de 66 años al monocultivo continuado con caña de azúcar. En los Ferralsoles, se determinó un incremento de la densidad del suelo (de 1.10 Mg m^{-3} en 1928 a 1.33 Mg m^{-3} en 1994) y una disminución de la porosidad total (de un 65 hasta un 49% en el mismo lapso); este comportamiento indica un aumento de la compactación de estos suelos. También se registró un incremento de la acidez, al disminuir el pH desde 6.6 en 1928 hasta 5.2 en 1994. Al mismo tiempo la materia orgánica disminuyó desde un 3.88 hasta un 2.57%. En este período, los Vertisoles mostraron un deterioro en sus propiedades químicas, al disminuir la materia orgánica desde un 4.7 hasta un 2.6% y el pH desde 6.9 a 6.3.

Un estudio realizado por Herrera y Milanés (2007), en Cambisoles y Luvisoles sin caña de azúcar (durante 15 años), con caña sin quemar y con caña quemada encontró, en los primeros 20 cm de profundidad, valores de 3.35, 2.17 y 1.80% de materia orgánica, respectivamente.

Cairo y Fundora (2005) plantean que cuando un suelo virgen comienza a ser cultivado, los niveles de materia orgánica y de nitrógeno bajan gradualmente, y pueden llegar a representar entre el 40 y el 70% de la materia orgánica contenida anteriormente. Este efecto es más marcado bajo las condiciones de clima tropical existentes en Cuba. Hernández *et al.* (2006) plantean que estos cambios suceden porque las plantas son la principal fuente de materia orgánica que se incorpora al suelo para ser transformada en humus. Además, los diferentes tipos de formaciones vegetales (grupos de formaciones leñosas, transicionales leñoso- herbáceas y herbáceas) aportan a la materia orgánica, en dependencia de sus características, propiedades específicas.

La vegetación influye decisivamente sobre el horizonte A, que es donde mayor contenido de materia orgánica se encuentra entre los horizontes minerales del suelo. Aquí ocurre la acumulación, descomposición, humificación y formación de compuestos acomplexados con los constituyentes minerales (Hillel, 1998; Ponce de León y Balmaseda, 1999).

Cairo y Fundora (2005) plantean que la mayor parte de la materia orgánica en el suelo tiene origen vegetal (vegetación herbácea espontánea, bosques y restos de cosechas). La distribución de la materia orgánica en el suelo está distribuida de diferentes formas, en dependencia del tipo de vegetación. A su vez, dicha vegetación influye sobre la evolución del suelo en las formas siguientes:

- ❖ *Por el microclima.* El ambiente húmedo y umbroso de los bosques contribuye a proteger el humus, el cual se descompone rápidamente bajo el efecto de la radiación solar al desaparecer el bosque.
- ❖ *Por la profundidad de enraizamiento.* La misma ayuda al movimiento descendente del agua con el consiguiente lavado de los coloides del suelo.
- ❖ *Por el humus que produce.* El humus formado por la vegetación, debido a las particularidades de los restos que ingresan al suelo y por la microflora y microfauna que favorece, es un agente fundamental de la edafogénesis.
- ❖ *Por la protección más o menos eficaz contra la erosión.* En los bosques se encuentran, generalmente, los suelos más evolucionados.

El uso del suelo tiene además una influencia determinante en los procesos de infiltración y distribución del agua en el suelo, así como en la evaporación influida por la cobertura vegetal (De *et al.* 2003). El estudio del mismo nos permite comprender las causas y consecuencias de las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y de pérdida de la biodiversidad (Mas *et al.*, 2009).

Según Cairo y Fundora (2005) la biomasa de los bosques tropicales y subtropicales oscila entre 500-1 700 t ha⁻¹. En la vegetación herbácea, la biomasa aérea varía entre 0.5-13 t ha⁻¹, mientras que la de las raíces fluctúa entre 8-28 t ha⁻¹. De acuerdo con el tipo de vegetación que cubre el suelo, el humus puede clasificarse en:

- ❖ *Humus de césped de gramíneas*. Poco ácido, rico en nitrógeno y de rápida descomposición.
- ❖ *Humus de bosque frondoso*. Medianamente ácido, descomposición bastante rápida.
- ❖ *Humus de bosque resinoso*. Muy ácido, pobre en nitrógeno y de muy lenta descomposición.

Morales *et al.* (2006) plantean que en los suelos Ferríticos Rojos Oscuros de Pinares de Mayarí las reservas de carbono, en los primeros 20 cm, oscilan entre 90-117 t ha⁻¹ en áreas cubiertas por bosques de pinos. Al mismo tiempo donde habían ocurrido procesos de deforestación las reservas de carbono en estos suelos solo son de 58 t ha⁻¹.

Por otra parte, la caña de azúcar es uno de los cultivos con mayores rendimientos en biomasa por área y unidad de tiempo (Cuéllar *et al.*, 2003). Según los datos aportados por Técnicaña (2007), en los Valles del Cauca y del Risaralda la caña de azúcar produce alrededor de 41 t ha⁻¹ de biomasa. Otros autores (Cuéllar *et al.*, 2003) plantean que, cuando se cosecha verde, la caña de azúcar aporta al suelo entre 7-10 t ha⁻¹ de biomasa.

I.3.- El agua en el suelo

El suelo es un cuerpo trifásico: sólido, líquido y gaseoso (Salgado, 2001), formado por un 50%, de partículas minerales y orgánicas y otro 50% por espacios porosos ocupados por el aire y el agua en igual proporción (Rogers y Sothers, 1996; Ponce de León y Balmaseda, 1999; Salgado, 2001). Hillel (1998) considera que las tres fases del suelo representan la matriz del suelo (fase sólida), la solución del suelo (fase líquida) y la atmósfera del suelo (fase gaseosa). Esta distribución se muestra en la Figura 1.1.

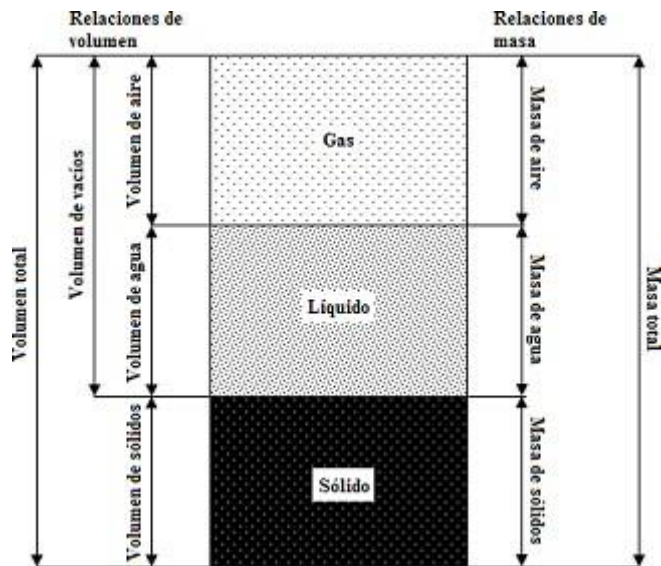


Figura 1.1.- Fases constituyentes del suelo con sus respectivas relaciones de volumen y masa.

El contenido de agua en el suelo puede ser expresado, según Rucks *et al.* (2004), en valores gravimétricos o volumétricos; el primero de ellos constituye la vía de determinación más sencilla. Ambas magnitudes son expresadas como porcentajes (Jaramillo, 2002).

El agua en el suelo se mueve mediante la *infiltración* al penetrar en dirección vertical, oblicua, o paralela a la superficie en el sentido de la pendiente, según las características del suelo. La magnitud y la velocidad de este movimiento están condicionadas por la permeabilidad del suelo, que a su vez depende de la porosidad, la estructura y el grado de humedad. Una vez infiltrada el agua, y antes de que ocurran los procesos de absorción radicular y evaporación, comienza la *redistribución* de la misma. Cuando el suelo está aún saturado, el agua de los macroporos circula con rapidez y se pierde por drenaje. Al alcanzar la capacidad de campo el agua circula por los mesoporos y microporos, de manera más lenta, pues está retenida por fuerzas capilares. Una vez que el agua se ha redistribuido, comienza el proceso de *deseccación* debido al consumo realizado por las plantas y a la evaporación (Jordan, 2006).

El agua contenida en el suelo influye de forma decisiva en el comportamiento productivo de los cultivos. Las necesidades hídricas de las plantas varían con la especie y la etapa vegetativa en la que se encuentran. Es importante conocer la disponibilidad de agua en el suelo en términos de masa y de volumen para poder entender la influencia de muchas de las propiedades químicas, mecánicas e hidrológicas sobre las plantas. Dicha disponibilidad suele encontrarse, en el espacio poroso total, en cantidades variables (Salgado, 2001).

- ❖ *Saturación*. Es el agua contenida del suelo cuando casi todos los espacios entre las partículas están llenos de agua (Cartes y Vargas, 2007). En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.
- ❖ *Capacidad de campo*. Es la cantidad de agua que contiene un suelo previamente saturado luego de que el exceso ha sido drenado por la acción de la fuerza de gravedad y la velocidad de percolación ha disminuido considerablemente (Aguilera y Martínez, 1996). El concepto de capacidad de campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan mala raramente tiene una capacidad de campo claramente definida. La capacidad de campo se determina mejor en el campo al saturar el suelo (Cartes y Vargas, 2007) y medir su contenido de agua después de 2 a 5 días de drenaje. Es una constante característica de cada suelo, pues depende de la textura, el contenido de materia orgánica y el grado de compactación (Aguilera y Martínez, 1996). El agua está retenida a -0.33 atm (Rogers y Sothers, 1996).
- ❖ *Punto de marchitez permanente*. Es el contenido de humedad de un suelo en el que las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recuperar su turgencia (Aguilera y Martínez, 1996). En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un medio saturado (Cartes y Vargas, 2007). El agua en este punto se encuentra retenida a -15 atm (Rogers y Sothers, 1996, Jaramillo, 2002).
- ❖ *Agua disponible*. Es la cantidad de agua disponible para el desarrollo de los cultivos que se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente (Jaramillo, 2002).
- ❖ *Humedad higroscópica*. Es el agua retenida en el suelo, a -30 atm, cuando se seca al aire (Jaramillo, 2002).

1.3.1.- Clasificación física del agua

Según Cairo y Fundora (2005), los estudios realizados a las propiedades hidrofísicas de los suelos demuestran que la tensión con la que el agua es retenida cambia paulatinamente con el aumento o la disminución de la humedad. El agua se encuentra retenida en varias formas:

- ❖ *Agua gravitacional o libre.* Es el agua que se mantiene momentáneamente en los macroporos después de los períodos de lluvia o del riego. Está regida por la fuerza de gravedad y aumenta su velocidad a medida que aumenta el volumen de los espacios interagregados por donde se mueve. Es un agua de mucho movimiento y rapidez, pero puede llegar a no a percolar cuando el suelo está saturado. Está retenida a tensiones inferiores a 0.1-0.5 atm.
- ❖ *Agua capilar.* Es la que llena los espacios capilares más finos e intermedios y queda después de que el agua gravitacional percola en el suelo. Se encuentra retenida en el suelo entre la capacidad de campo (-0.33 atm) y la humedad higroscópica (-31 atm).
- ❖ *Agua higroscópica.* Es el agua absorbida por el suelo en dependencia de las condiciones atmosféricas. No puede ser asimilada por las plantas porque se encuentra en estado gaseoso (vapor de agua).
- ❖ *Agua molecular.* Se encuentra en la superficie de las partículas sin disolver los cuerpos solubles.
- ❖ *Agua de combinación o de constitución.* Forma parte del suelo como constituyente de su estructura molecular. No se desprende por desecación. Debido al lazo de unión que existe entre esta agua y los elementos minerales no puede ser utilizada por las plantas. Desde el punto de vista de la dinámica del agua en el suelo, puede considerarse como si no existiera.

No obstante, estos autores reconocen que no existe una definición exacta que permita delimitar la condición del agua en el suelo.

1.3.2.- Clasificación biológica del agua

Según Aguilera y Martínez (1996) el agua desde el punto de vista de su aprovechamiento por las plantas puede clasificarse en:

- ❖ *Agua de gravitación.* Es la que drena por gravedad de la zona de las raíces. El movimiento del agua es más rápido en los suelos de textura arenosa que en los arcillosos.
- ❖ *Agua disponible o humedad aprovechable.* Es la que puede ser aprovechada por las plantas; se encuentra entre la humedad a la capacidad de campo y la del punto de marchitez permanente.

- ❖ *Agua no disponible*. Es la que se encuentra retenida por la acción de la fuerza capilar, lo que trae como resultado que su aprovechamiento sea muy difícil.

La relación entre las clasificaciones física y biológica del agua se representa en la Figura 1.2.

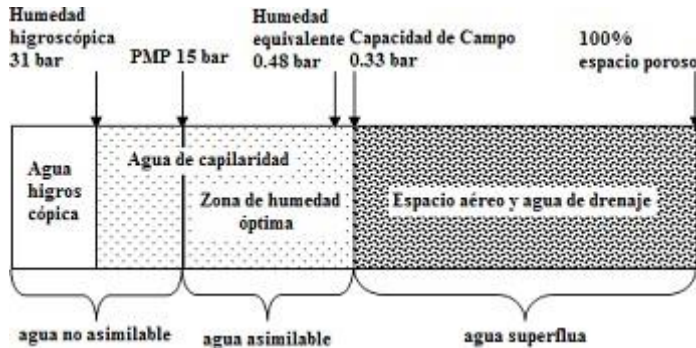


Figura 1.2.- Relación entre la clasificación física del agua y la biológica y las tensiones a que se encuentran retenidas.

1.4.- Algunas propiedades de los suelos que influyen en el comportamiento de las propiedades hidropedológicas del suelo

Las propiedades del suelo tienen una notable influencia en el balance del agua contenida en el mismo. El conocimiento de estas propiedades, de su comportamiento bajo diferentes condiciones edáficas y la forma en que regulan la circulación hídrica, es de particular importancia en las áreas dedicadas a usos agrícolas para lograr un adecuado manejo de los recursos hídricos y alcanzar un desarrollo sustentable a través de un manejo agrotécnico y uso de la tierra adecuados. En las áreas agrícolas las propiedades hidráulicas de los suelos pueden cambiar por las labores de preparación de tierra y el impacto debido a la modificación de las propiedades físicas tales como densidad y estructura del suelo (Lipiec *et al.*, 2007; Czyż y Dexter, 2009).

1.4.1.- Estructura del suelo

La estructura es la forma en que los elementos constitutivos del suelo tienden a unirse entre sí (Mela, 1970; Warkentin, 2008) para formar unidades mayores conocidas como agregados (Ponce de León y Balmaseda, 1999). Según Pelegrín *et al.* (1990) el estado de la estructura condiciona el tamaño y la distribución de los macroporos y, por ende, el movimiento y retención del agua.

Con respecto a la estructura coexisten tres concepciones diferentes: una físico-química otra genético-morfológica y, por último, la agronómica. La primera de ellas incluye la floculación progresiva de las partículas de suelo, que comienza desde la agregación de los coloides hasta la formación de agregados mayores, la segunda plantea que no existen suelos sin estructura, pues cada tipo la adquiere durante su génesis; la cual sirve, además, para identificarlos. En el caso del concepto agronómico se entiende por suelo estructurado aquel en el que se encuentra en mayor proporción los agregados entre 0.25 y 10 mm; y se consideran como una mezcla inexacta los que se encuentran fuera de este rango. En los procesos de agregación influyen el contenido de arcilla, el tipo de arcilla, los iones intercambiables, los cementantes inorgánicos, los compuestos y cementantes orgánicos, el aire, la temperatura, la presión y el agua (Hernández *et al.*, 2010).

Una buena estructura en el horizonte A evita el sellado de los poros y el encostramiento superficial, posibilita la germinación de las semillas y permite la infiltración del agua. Al aumentar la infiltración disminuye, junto con la escorrentía, la erosión hídrica, lo que trae consigo el aumento de las reservas de agua. Con respecto al espacio poroso permite la circulación del agua, aire y nutrientes, eleva la conductividad hidráulica y favorece la actividad de la microfauna y mesofauna del suelo, además facilita la penetración de las raíces. Disminuye la compactación del suelo, lo que alivia el laboreo, favorece la disminución de la densidad del suelo y mejora el desarrollo radicular (Jordan, 2006).

1.4.2.- Textura

La textura está dada por la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de la parte mineral un suelo (Mela, 1970; Ponce de León y Balmaseda, 1999; Hernández *et al.*, 2006). La fracción granulométrica que más abunda es la que determina el tipo de textura y de ella dependen la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la capacidad de intercambio catiónico y la absorción de nutrientes (Aguilera y Martínez, 1996).

Se dice que una textura es adecuada cuando permite el óptimo desarrollo vegetal. De esta manera, Rucks *et al.* (2004) plantean que un suelo tiene una buena textura cuando la relación entre los diferentes tamaños de partículas le permiten a las plantas fijar las raíces y realizar la nutrición. Estos autores señalan que de acuerdo al tamaño existen tres grupos principales: arena, limo y arcilla.

La arena está constituida por partículas minerales sólidas de tamaño comprendido entre 2.00-0.02 mm (Ponce de León y Balmaseda, 1999). Es la fracción más grande del suelo, compuesta principalmente por granos de cuarzo más o menos meteorizados (Rucks *et al.*, 2004). La arena no tiene capacidad de agregación; además, una gran proporción de arena en el suelo da lugar a poros numerosos y relativamente grandes. Los principales minerales que la constituyen son el cuarzo, los feldespatos, las plagioclasas, entre otros. Los granos de esta fracción son visibles y se pueden observar individualmente (Casanova *et al.*, 2004). Su capacidad de intercambio catiónico es baja. Su principal función es la composición de la matriz del suelo.

El limo agrupa las partículas de un tamaño comprendido entre 0.02 y 0.002 mm. La cualidad más notable es su apariencia suave, sedosa en estado húmedo y polvosa en estado seco (Jaramillo, 2002). Su composición química es semejante a la de la arena (Casanova *et al.*, 2004), y al igual que esta, no tiene capacidad de agregación. No sufre expansión ni contracción y su capacidad de intercambio catiónico es baja.

La arcilla es la fracción más pequeña, su tamaño es inferior a 0.002 mm (Meyer *et al.*, 2011) y posee propiedades físicas y químicas especiales, entre las que se encuentran una mayor superficie específica, poder absorbente, plasticidad y cohesión.

En ella predominan los minerales secundarios como la caolinita, illita, montmorillonita y vermiculita (Rucks *et al.*, 2004); pues, según Jordan (2006), mientras que las fracciones mayores son el producto de la disgregación física de la roca madre, la arcilla proviene de la alteración química del material originario. Esta es la causa de las diferencias mineralógicas entre las mismas. Las arcillas, además, tienen la capacidad de flocularse, por lo que no se comportan como partículas individuales en el suelo.

1.4.2.- Densidad del suelo

Salgado (2001) plantea que la densidad de la fase sólida o real (Dfs) representa la masa de las partículas por unidad de volumen de sólidos. Mientras que la densidad del suelo o aparente (Ds) se refiere a la masa de suelo seco por una unidad de volumen de suelo.

La densidad del suelo puede verse afectada por la textura, la estructura, la compactación, el laboreo y la materia orgánica (Cairo y Fundora, 2005). La compactación del suelo provoca el aumento de la densidad del suelo, de la resistencia mecánica y disminuye la porosidad del mismo (Taboada y Micucci, 2009; Villamil *et al.*, 2000; Orjuela-Mata *et al.*, 2011). Otros autores (Defossez y Richards, 2002) agregan que también puede causar considerables daños a la estructura de los suelos con la consiguiente afectación a los rendimientos agrícolas, a la laborabilidad del suelo y al medio ambiente.

Con respecto a la densidad del suelo, la Dirección General de Suelos y Fertilizantes (1984) plantea que puede clasificarse como ***muy baja*** cuando está por debajo de 1.00 Mg m^{-3} ; ***baja*** cuando oscila entre $1.00\text{-}1.20 \text{ Mg m}^{-3}$; ***mediana*** entre 1.20 y 1.45 Mg m^{-3} ; ***alta***, al variar dentro de un rango de 1.45 y 1.60 Mg m^{-3} y ***muy alta*** cuando supera los 1.60 Mg m^{-3} . Estos mismos autores plantean que, en el caso de la densidad de la fase sólida, los minerales secundarios presentan valores muy superiores a los encontrados en la materia orgánica, donde la *Dfs* es de 1.37 Mg m^{-3} ; mientras que, en la caolinita, la goetita y la hematita, los rangos oscilan entre $2.0\text{-}2.5$, $3.3\text{-}4.3$ y $4.9\text{-}5.3 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente.

1.4.3.- Porosidad del suelo

La porosidad total es la porción del volumen total del suelo que se encuentra ocupada por los poros (Salgado, 2001). Dentro del espacio poroso se pueden distinguir los macroporos y microporos. Los macroporos no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y son los responsables del drenaje y la cantidad de aire contenido en el suelo. La macroporosidad constituye también la mayor parte del espacio en el que crece el sistema radical. Los microporos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos y microporos. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks *et al.*, 2004). El tamaño de los poros influye en los distintos procesos edáficos como son la

infiltración, el almacenamiento de agua, el drenaje, el intercambio gaseoso y la resistencia al desarrollo radicular (Castiglioni *et al.*, 2010, Deon *et al.*, 2018).

Una alta porosidad resulta enormemente favorable para las plantas, pues facilita el enraizamiento, ayuda a la conservación del agua y posibilita un mejor intercambio entre las raíces y el suelo. Para que el suelo tenga una buena aireación y retención de agua, la porosidad debe encontrarse entre el 40-60%. Por debajo de este rango pueden asfixiarse las raíces. Por encima del límite máximo se dificulta el contacto entre las raíces de las plantas y el suelo.

En condiciones naturales de estructura del suelo, la macroporosidad es mayor que en áreas sometidas a la influencia antrópica, pues las diferentes labores agrícolas provocan una notable disminución de la porosidad de aireación con efectos negativos para el volumen de aire del suelo (Spera *et al.*, 2004).

La macroporosidad, o porosidad ocupada por el aire, está formada por los poros más grandes que, como su nombre lo indica, están ocupados frecuentemente por aire. A menudo se presentan en forma de grietas que separan los agregados e incluso penetran en los mismos. Su importancia depende sobre todo de la estructura del suelo, del nivel de agrietamiento y, en cierta medida, de la textura. Es más elevada en suelos arenosos. La microporosidad o porosidad ocupada por el agua depende también de la estructura, pero sobre todo de la textura y de la actividad biológica. Es mayor en suelos arcillosos y en aquellos donde existe una microfauna numerosa y activa (Cairo y Fundora, 2005).

La porosidad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. Mientras más gruesas son las partículas, mayores son los espacios entre ellas. Por ello, es normal que los suelos arenosos presenten poros gruesos y los suelos limosos y arcillosos, poros muy numerosos, pero de pequeño tamaño. La influencia de la estructura es tan evidente que a menudo se utiliza el valor de la porosidad para dar una idea de la estructura del suelo; además los agentes que destruyen la estructura, como por ejemplo el apisonado, disminuyen la porosidad. En los suelos cuya actividad biológica es intensa se observa con frecuencia, al lado de las huellas del recorrido de las lombrices, un gran número de galerías muy finas, debidas a la labor de los artrópodos. Cuando este tipo de poros resulta predominante se dice que el suelo tiene una porosidad tubular (Cairo y Fundora, 2005).

La porosidad total puede evaluarse como muy alta cuando es mayor del 63%, alta cuando oscila entre 55-63%, mediana al encontrarse entre el 45-55%, baja al variar entre el 40-45% y

muy baja cuando está por debajo del 40% (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1984).

II.- MATERIALES Y MÉTODOS

II.1.- Características de la zona

El estudio se llevó a cabo en áreas pertenecientes a Pinares de Mayarí, situado en el Altiplano de Nipe el cual, con una altura por encima de los 600 msnm, y unos 25 km de ancho de este a oeste por 45 km de norte a sur, se encuentra ubicado en el municipio de Mayarí, provincia de Holguín. Limita al norte y al oeste con la Llanura de Alto Cedro, al este con la cuenca del río Mayarí y al sur con la del río Cauto (Figura 2.1).

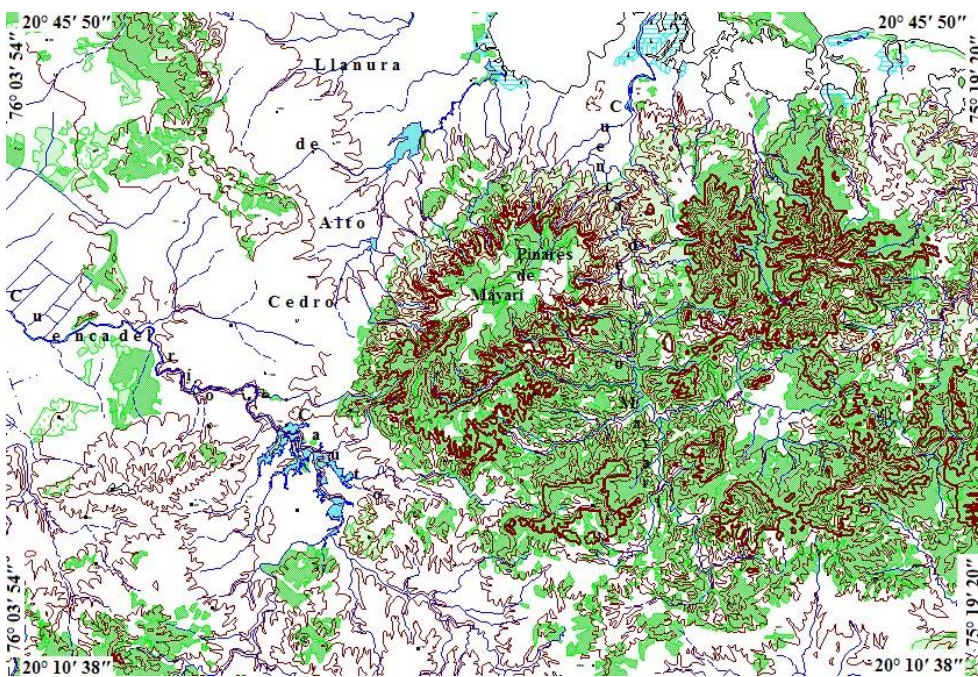


Figura 2.1.- Límites geográficos de Pinares de Mayarí (1:450 000).

La vegetación está formada, fundamentalmente, por relictos de bosques tropicales latifolios perennifolios. (Marín *et al.*, 1991). La especie más común es el pino de Mayarí (*Pinus cubensis*). Bennett y Allison (1966), reportaron en 1928 que la vegetación en Pinares de Mayarí consistía de pinos y vegetación herbácea, con algunos bosques de latifolias en galería a lo largo de los ríos, llegando a existir, en determinados lugares, una vegetación de bosques lluviosos a pluvisilvas (Smith, 1953; Instituto de Suelos, 1973). El principal cultivo comercial es el café (Marín *et al.*, 1991).

Los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos son predominantes en Pinares de Mayarí, donde

ocupan una extensión de 169.603 km² (Figura 2.2). Ocupan la parte montañosa del relieve, con una pendiente que va desde ondulada a fuertemente alomada. En menor superficie aparecen otros tipos de suelo como los Ferralíticos Rojos, Fersialíticos Pardos Rojizos, Fersialíticos Rojos, Pardos, Húmicos Calcimórficos, Rendzinas, Fluvisoles y Litosoles.

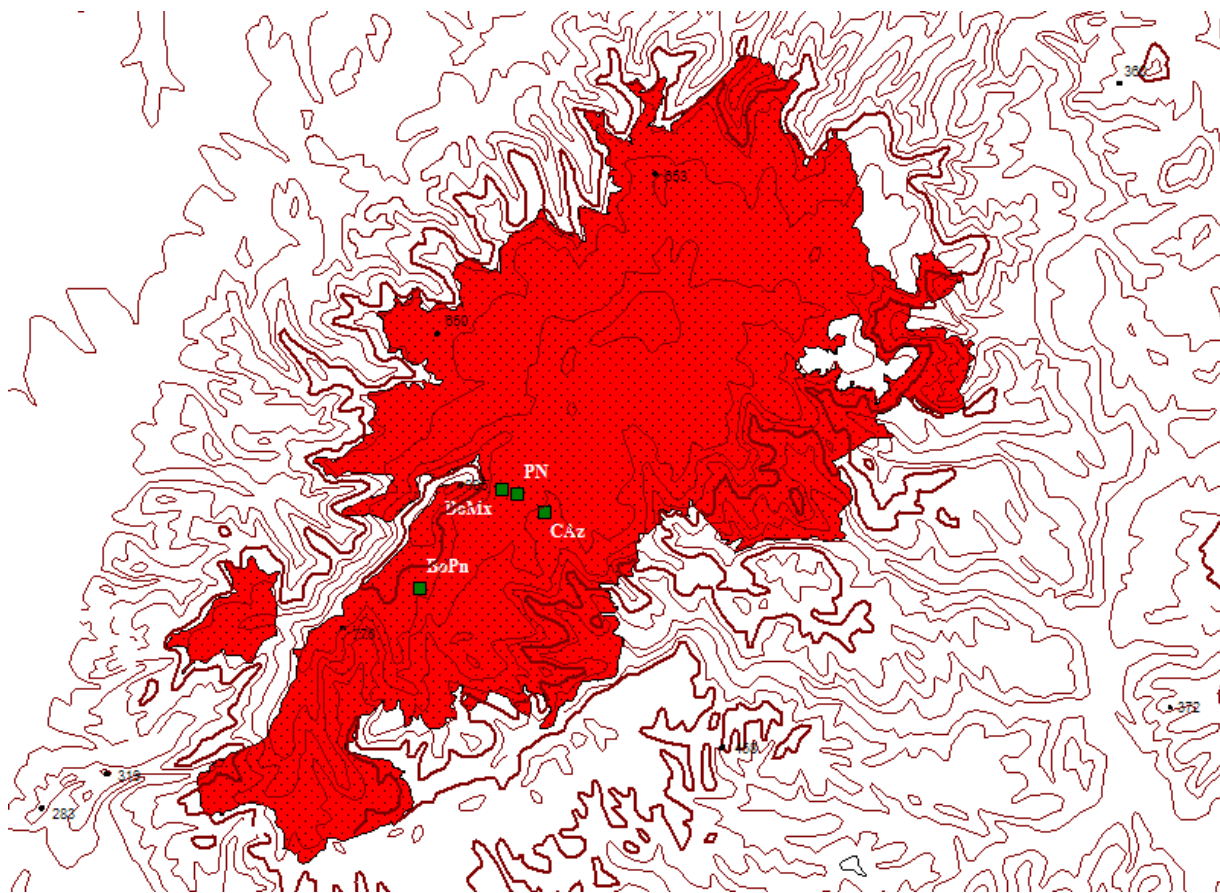


Figura 2.2.- Área ocupada por los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos en Pinares de Mayarí (1:15 000).

La temperatura media en la zona es de 21.4° C, con una precipitación promedio anual de 1 688 mm. Existe un período muy lluvioso, con precipitaciones promedio mensuales superiores a los 100 mm entre los meses de abril a noviembre, con dos picos bien definidos en mayo y septiembre; y un periodo menos lluvioso comprendido entre diciembre y marzo (Anexo 3). El diagrama climático se realizó por el método de Walter (Samek y Travieso, 1968; Lerch, 1984).

II. 2.- Selección y muestreo de las áreas

Para la selección de los sitios de muestreo se estratificó el área, de acuerdo al tipo de suelo y uso de la tierra, mediante la utilización del Mapa de Suelos 1:25000, imágenes satelitales

IKONOS (1 m de resolución) y el software Mapinfo Professional 10.0; y se efectuaron recorridos a pie por los sitios escogidos (Figura 2.3).

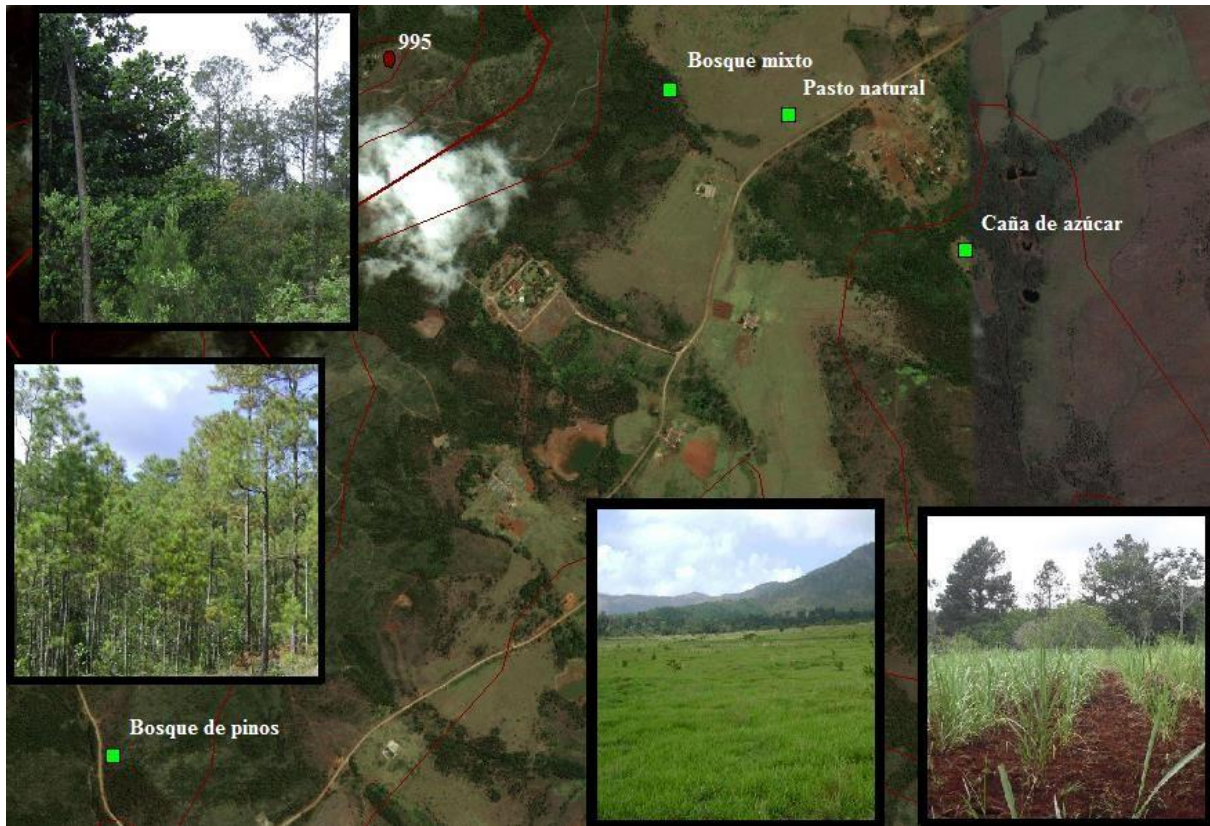


Figura 2.3.- Ubicación de los usos de la tierra estudiados (1:20 000).

Las áreas ocupadas por los diferentes usos de la tierra fueron divididas en 1, 29, 9 y 28 parcelas de 2500 m² (*Caña de azúcar*, *Pasto natural*, *Bosque de pinos* y *Bosque mixto*, respectivamente). A cada parcela (celda) se le superpuso una rejilla más densa formada por 50 subparcelas de 50 m². Una vez conocidas la cantidad y el orden de las parcelas se procedió, para elegir una parcela de 2500 m² en cada uso de la tierra de forma aleatoria, a utilizar el comando:

$$? \int ((j - i + 1) * rand() + i)$$

Se repitió la operación para escoger dentro de la parcela seleccionada 5 subparcelas, muestrándose el centro de cada una de ellas a tres profundidades, que coincidieron con los horizontes A1, A3 y B1. (Véase Anexo 4). Se eligió como unidad mínima de estudio la parcela de 50x50 m (2500 m²), por corresponder a la menor superficie ocupada por uno de los usos de la tierra, en este caso *Caña de azúcar*.

El muestreo de suelos se realizó con la barrena agrofísica de muestras inalteradas, con cilindro de 100 cm³. En cada punto se abrió una calicata hasta 60 cm de profundidad, retirándose horizonte por horizonte, luego de realizada en cada uno la toma de muestras correspondiente.

II.3.- Descripción de los usos de la tierra

Se seleccionaron cuatro usos de la tierra por la extensión superficial que representan dentro de la subregión geográfica del Altiplano de Nipe, específicamente en Pinares de Mayarí. Los usos estudiados fueron:

Caña de azúcar. El área escogida forma parte del lote de floración perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín, fue plantado, en noviembre de 1986, en áreas cercanas a la Estación Integral de Investigaciones de Montaña. Ubicado a los 20° 28' 58.08" de latitud N y 75° 47' 15.36" de longitud W. Al SSE de la Loma de La Mensura. El suelo se encuentra poco humificado, con una pendiente predominante de un 5%.

Pasto natural. Se encuentra ubicado frente a la Estación Integral de Investigaciones de Montaña, a un costado de la carretera Mayarí-Mella. Ubicado a los 20° 29' 13.92" de latitud N y 75° 47' 39.84" de longitud W. Al E de la Loma de la Mensura, con al menos 38 años de establecido. El suelo está poco humificado y presenta una pendiente predominante de un 7%. Constituye un área abierta que fue destinada a la ganadería y ahora en algunas partes se observa una vegetación arbustiva secundaria.

Las especies principales en las áreas de pastizales son *Andropogon bicornis* y *Paspalum notatum*, encontrándose numerosos individuos de *Sporobolus indicus*, *Schyzachirium gracile*, *Rhynchospora ssp.*, *Waltheria indica*, *Pteridium caudatum* y algunos individuos de *Aristida refracta*.

Bosque de pinos. Su ubicación es carretera Mayarí-Mella. A los 20° 27' 55.44" de latitud N y 75° 49' 8.04" de longitud W. Al SSW de la Loma de La Mensura. Es un bosque virgen, con el suelo medianamente humificado, donde la pendiente predominante es del 35%.

Posee un estrato arbóreo dominado por *Pinus cubensis*, con una altura de 17 m y un sotobosque conformado por las especies *Lyonia macrophylla*, *Lyonia nipensis*, *Guettarda monocarpa*, *Guettarda crassipe*, *Annona sclerophylla*, *Psychotria cf. lopezii*, *Erythroxylum pedicellare*, *Zanthoxylum pseudodumosum*, *Jacquinia robusta*, *Garcinia ruscifolia*,

Antillanthus trichotomus, *Eugenia spp.*, *Grisebachianthus lantanifolius*, *Koanophyllon polystictum*, y *Baccharis shaferi*.

En el estrato herbáceo encontramos las especies *Polygala saginoide*, *Heptanthus cordifolius*, *Aristida refracta*, *Anemia nipensis*, *Ichnanthus mayarensis*, *Panicum spp.*, *Rhynchospora spp.*, *Arthrostylidium capillifolium* y *Scleria havanensis*.

Las lianas son escasas y solo se observan las especies *Smilax cristalensis*, *Mimosa ekmanii*, *Dioscorea sp.*, *Stigmaphyllon sagraeanum*, *Galactea revoluta*, *Vanilla dilloniana*. Se encuentran también algunas epífitas de los géneros *Tillandsia* y *Catopsis* de las bromeliáceas y *Encyclia*, *Epidendrum* y *Tolumnia*, de las orquidáceas.

Bosque mixto. A los 20° 29' 17.88" de latitud N y 75° 47' 53.52" de longitud W. Al E de la Loma de La Mensura. Se encuentra en las áreas que anteriormente estuvieron ocupadas por pinares y bosques latifolios perennifolios (Pluvial submontano) y ahora forma una vegetación seminatural. El suelo se encuentra medianamente humificado, y la pendiente predominante es del 8%.

Está formado por un estrato arbóreo dominado por *Cyrilla cubensis ssp.*, *Clusia rosea*, *Calophyllum utile*, *Buchenavia capitata*, *Ocotea cuneata*, *Schefflera morototoni*, *Chionanthus domingensis*, *Bactris cubensis* y *Pinus cubensis*.

El estrato arbustivo está compuesto por las plántulas de las especies del estrato arbóreo superior y las especies arbustivas *Tabebuia spp.*, *Coccoloba shaferi*, *Miconia ssp.*, etc.

En el estrato herbáceo predominan las siguientes especies *Arthrostylidium fimbriatum*, *Panicum glutinosum*, *Scleria pilosissima*, *Nephrolepis spp.*, *Ichnanthus pallen*, *Peperomia obtusifolia*, *Coccosypselum herbaceum*, *Protium subacuminatum*.

Presenta dos sinucios, uno de lianas dominado por *Passiflora sp.*, *Smilax cristalensis*, y *Lygodium volubilis* y otro de epífitas donde predominan las especies *Tillandsia fasciculata*, *Tillandsia festucoides*, *Tillandsia usneoides*, *Tillandsia pruinosa* y *Catopsis berteroniana*.

II.4.- Caracterización Hidropedológica

La caracterización hidropedológica se realizó según la metodología propuesta por Cid *et al.* (2004), Cid *et al.*, (2006), como muestra la Tabla 2.1. Estos autores consideran al suelo como un cuerpo trifásico (con una fase sólida, líquida y gaseosa) a la hora de emplear la mecánica de

suelos para detallar los parámetros más usados para relacionar la masa y el volumen de los tres constituyentes fundamentales del suelo.

Tabla 2.1.- Parámetros utilizados para expresar la interrelación cuantitativa entre la masa y el volumen de los tres constituyentes primarios del suelo.

Masa de sólidos	Volumen de suelo	Volumen de sólidos
	Masa	
Humedad gravimétrica (θ_g) $\theta_g = M_w/M_s$ ($g\ g^{-1}$)	Masa de volumen de suelo (D_s) $D_s = M_s/V_t$ (Mgm^{-3})	Masa volumétrica de sólidos (D_{fs}) $D_{fs} = M_s/V_s$ (Mgm^{-3})
	Humedad volumétrica (θ_v). $\theta_v = \theta_g * D_s$ (cm^3cm^{-3})	
	Volumen	
Volumen específico ($cm^3\ g^{-1}$)	Porosidad total (Pt)	Índice de vacío (poros totales) o índice volumétrico(e)
total (v) = $1/D_s$	Pt = $1 - D_s/D_{fs}$	e = $D_{fs}/D_s - 1$
de sólidos (ves) = $1/D_{fs}$	Porosidad ocupada por el agua (Pw)	Índice de agua (ew) = $\theta_g * (1/D_{fs})$
de agua (vew) = V_w/M_s	Pw = $V_w/V_t = \theta_w$	Índice de aire (ea) = e - ew
de aire (vea) = - vew - ves	Porosidad ocupada por el aire (Pa)	
poral (vep) = vew + vae	Pa = Pt - Pw	

Donde M_w : Masa de suelo húmedo, M_s : Masa de suelo seco, V_t : Volumen del cilindro ($100\ cm^3$).

II.5.- Análisis estadístico

Se empleó la estadística descriptiva para la determinación de los estadígrafos esenciales de posición y dispersión. Se realizó un Análisis de Varianza de clasificación simple mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 95% de probabilidades, para determinar si el conjunto de tratamientos considerados produce un efecto estadísticamente diferenciado en cuanto al comportamiento de los mismos en cada una de las variables analizadas. En el análisis estadístico se utilizaron los softwares Statistica 7 y Statgraphics plus 5.0.

III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1.- Caracterización Hidropedológica

III.1.1.- Masa de sólidos

La Figura 3.1 muestra los valores alcanzados por la humedad gravimétrica (θg) en los cuatro usos de la tierra en cada uno de los tres horizontes. Los mayores resultados se obtuvieron en el horizonte A1; entre los usos de la tierra, *Bosque de pinos* fue el que mayor θg reveló, con 0.46 g g^{-1} . En *Pasto natural*, *Caña de azúcar* y *Bosque mixto* la humedad gravimétrica fue de 0.36 , 0.31 y 0.30 g g^{-1} , respectivamente. Se encontraron diferencias altamente significativas entre los valores determinados en *Bosque de pinos* y el resto de los usos de la tierra.

En el horizonte A3, el uso *Bosque de pinos* continuó como el de mayor contenido de humedad gravimétrica (0.44 g g^{-1}), con diferencias altamente significativas con los demás usos de la tierra. No se encontraron diferencias entre *Caña de azúcar* (0.30 g g^{-1}) y *Pasto natural* (0.27 g g^{-1}); sin embargo, *Caña de azúcar* sí tuvo diferencias altamente significativas con *Bosque mixto* (0.24 g g^{-1}). No sucede lo mismo al comparar los resultados obtenidos en *Pasto natural* y *Bosque mixto*. El uso *Bosque de pinos* continuó como el de mayor humedad gravimétrica, con 0.43 g g^{-1} , en el horizonte B1. Este uso, al igual que en los horizontes sobreyacentes, mostró diferencias altamente significativas con *Caña de azúcar* (0.31 g g^{-1}), *Pasto natural* (0.30 g g^{-1}) y *Bosque mixto* (0.27 g g^{-1}), los que no manifestaron diferencias entre sí.

Al examinar el comportamiento de la humedad gravimétrica en los cuatro usos a medida que aumenta la profundidad se observa que, excepto en *Bosque de pinos*, la humedad gravimétrica disminuye al pasar del horizonte A1 al A3, para aumentar en el B1. Este comportamiento es más notable en las áreas de *Pasto natural* y *Bosque mixto*. Todos los valores determinados se encuentran por debajo de la unidad, lo cual coincide con lo planteado por Cid *et al.* (2006) para la mayoría de los suelos agrícolas, independientemente del grado de saturación por agua. En *Bosque de pinos* la recarga de agua producida por las precipitaciones es más eficiente, al poder almacenar una mayor cantidad de humedad en el suelo, lo que hace que la influencia del régimen hídrico údico sea más manifiesta. Un mayor contenido de humedad en *Bosque de pinos* puede acelerar, con respecto a los demás usos de la tierra, la hidratación de los óxidos de hierro. Este fenómeno pudiera disminuir los contenidos de hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y aumentar los

de goetita (α -FeOOH), lo que provocaría cambios en la coloración de los suelos, de rojo (7.5R-5YR) a amarillo (7.5YR-2.5Y).

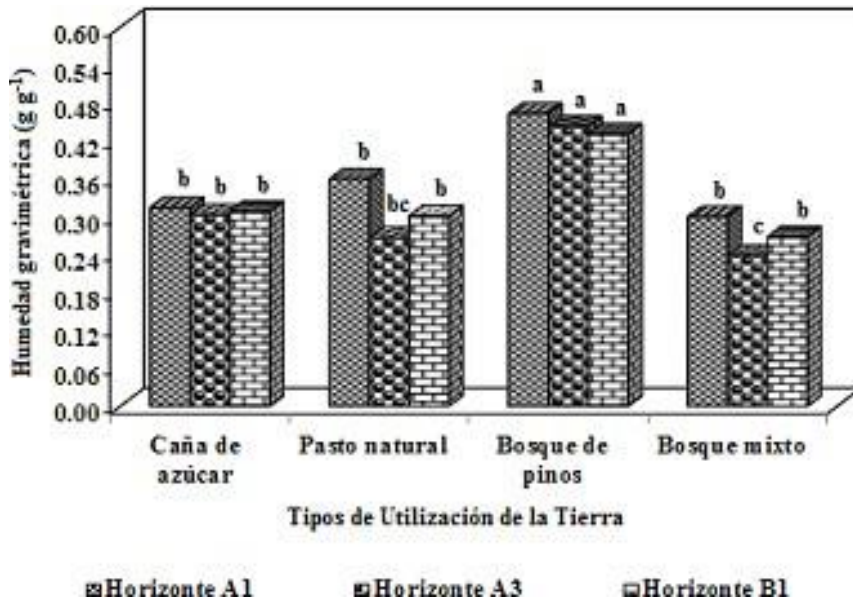


Figura 3.1.- Comportamiento de la humedad gravimétrica. La comparación múltiple de medias de Duncan es por horizontes entre los usos de la tierra.

La Figura 3.2 muestra los resultados de la masa de sólidos en términos de volumen. En el caso del horizonte A1, el volumen específico total (v) en *Bosque de pinos* mostró valores de $1.05 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, y tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos. No ocurre lo mismo con *Bosque mixto* ($0.87 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) al compararlo con *Pasto natural* ($0.74 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$), pues ambos no difieren entre sí. Tampoco existen diferencias entre el último uso de la tierra mencionado y *Caña de azúcar* ($0.69 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$).

En el horizonte A3 continúa *Bosque de pinos* con el mayor valor de v , en el cual la masa de sólidos en términos de volumen fue de $0.84 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$. Al compararlo con el resto de los usos de la tierra se encontraron diferencias altamente significativas. Entre *Pasto natural*, *Caña de azúcar* y *Bosque mixto* no se encontraron diferencias significativas por ser las medias bastante similares entre sí, con volúmenes específicos totales de $0.63 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ para los dos primeros y $0.62 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, para el último uso mencionado. Tampoco se encontraron diferencias significativas en el horizonte B1. En este horizonte, el mayor volumen específico total, al igual que en el horizonte sobreyacente, se encontró en *Bosque de pinos* ($0.77 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y el menor en *Bosque mixto* ($0.63 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$).

El comportamiento de este volumen específico en los tres horizontes varía entre los cuatro usos de la tierra. La conducta más dispar la tiene *Bosque de pinos*, que disminuye con la profundidad, tendencia muy notable en los primeros horizontes del suelo. El uso *Bosque mixto*, aunque decrece también en los horizontes A1 y A3, aumenta ligeramente al llegar al B1. Los usos de la tierra *Pasto natural* y *Caña de azúcar* tienen un proceder muy semejante entre ellos. Los altos valores del volumen específico total en las áreas boscosas indican un menor grado de compactación al compararlos con los resultados encontrados en los usos *Caña de azúcar* y *Pasto natural*.

En el caso del comportamiento del volumen específico de sólidos (*ves*) en el horizonte superficial, *Bosque mixto* ($0.41 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y *Pasto natural* ($0.40 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) no mostraron diferencias entre sí. Estos no difieren significativamente de *Caña de azúcar* ($0.35 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$); pero si lo hacen de forma significativa de *Bosque de pinos* que fue el de menor *ves* ($0.31 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$).

En el horizonte A3, *Pasto natural* pasa a ser el de mayor *ves*, con $0.38 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, seguido por *Caña de azúcar* ($0.34 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). Entre estos no existen diferencias significativas, al contrario de lo que ocurre al comparar la media de *Pasto natural* con las de *Bosque de pinos* ($0.32 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y *Bosque mixto* ($0.32 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$). Entre *Pasto natural* y los dos últimos usos mencionados sí hay diferencias altamente significativas. En el último horizonte muestreado (B1), *Pasto natural* sigue, con $0.38 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, como el de mayor *ves* y tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos. Los usos *Bosque mixto* ($0.35 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) y *Caña de azúcar* ($0.34 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) no mostraron diferencias entre ellos, a pesar de que el primero sí tiene diferencias altamente significativas con *Bosque de pinos* ($0.31 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$).

En la conducta del volumen específico de sólidos en la profundidad se observa que mientras *Caña de azúcar* y *Pasto natural* tienden a disminuir, no ocurre lo mismo en las áreas boscosas. En *Bosque de pinos* hay un notable incremento del volumen específico en el horizonte A3, que disminuye ligeramente en el B1. A la vez que en *Bosque mixto* el *ves* se comporta de forma diametralmente opuesta, pues su tendencia es a decrecer abruptamente en el horizonte intermedio, con un ligero aumento en el B1.

Al evaluar el comportamiento del volumen específico de agua (*vew*) se observa que *Bosque de pinos* es el de mayores resultados con $0.03 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, en todos los horizontes. Este uso tiene diferencias significativas en el horizonte A1 y altamente significativas en los horizontes A3 y

B1. Con respecto a la profundidad se aprecia que, en *Bosque de pinos*, *Pasto natural* y *Bosque mixto*, el volumen específico de agua disminuye en el horizonte A3 para aumentar al pasar hacia el B1, sin superar los valores determinados en el horizonte superficial. De forma diferente es la conducta del *vev* en *Caña de azúcar*, pues en el horizonte A3 aumenta por encima del valor determinado en A1, para decrecer ligeramente en B1.

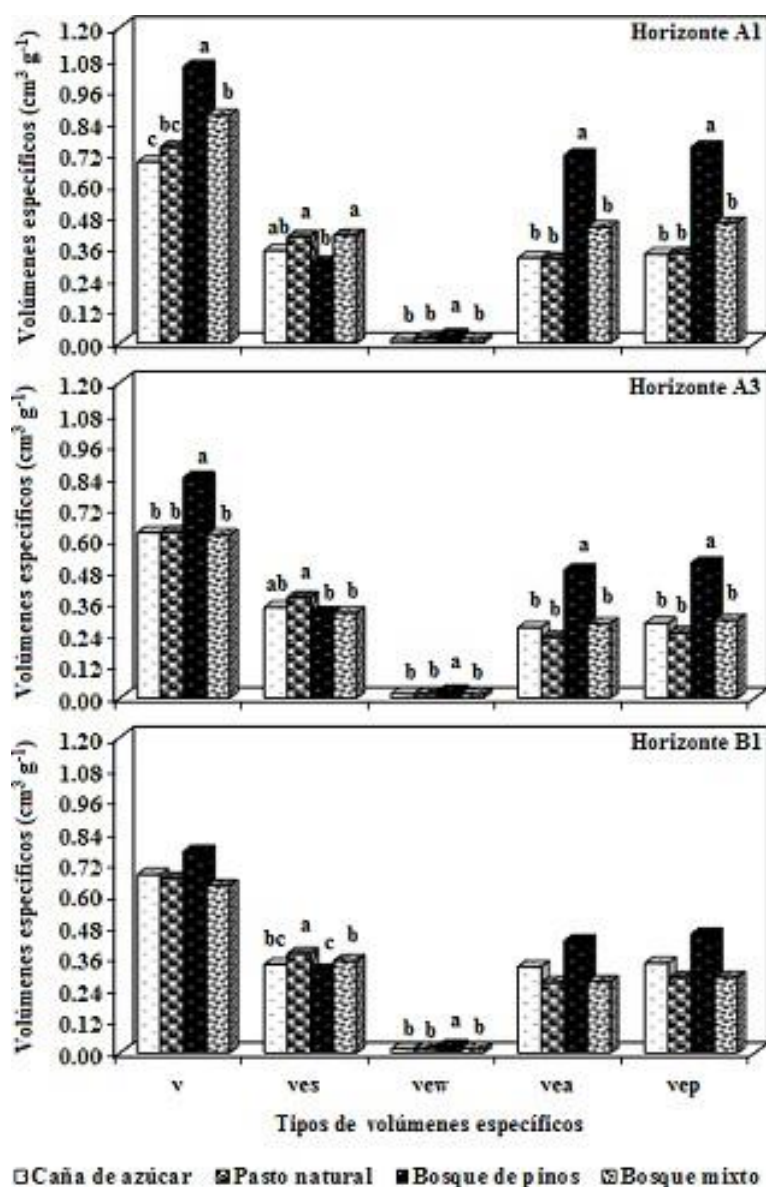


Figura 3.2.- Comportamiento de los diferentes volúmenes específicos del suelo.

En el caso del volumen específico de aire (*vea*) en el horizonte A1 se observa que el uso con mayores resultados es *Bosque de pinos*, con $0.71 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$, el cual tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos de la tierra, pues *Bosque mixto*, *Caña de azúcar* y *Pasto*

natural solo mostraron valores de 0.44, 0.32 y 0.32 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$. En el horizonte A3 *Bosque de pinos* continúa como el de mayor volumen específico de aire, con 0.49 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ y, de igual manera, con diferencias altamente significativas con el resto de los usos de la tierra, que repiten el orden establecido en el horizonte superior. En el horizonte más profundo, *Bosque de pinos*, *Caña de azúcar*, *Bosque mixto* y *Pasto natural* mostraron valores de 0.42, 0.33, 0.27 y 0.27 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, sin encontrar diferencias significativas entre ellos.

Con respecto al comportamiento del *vea* a medida que se profundiza en el perfil, se observa que *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* tienen una tendencia similar a decrecer, mucho más notable entre los horizontes A1 y A3. Mientras que en *Caña de azúcar* y *Pasto natural* el volumen específico de aire disminuye en el horizonte A3 para aumentar en el B1, conducta que se aprecia en mayor magnitud en el uso *Caña de azúcar*.

También en el volumen específico poral (*vep*) en el horizonte A1, *Bosque de pinos* es el uso de la tierra que mayores cifras muestra (0.75 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$), seguido por *Bosque mixto*, *Pasto natural* y *Caña de azúcar*, con 0.46, 0.34 y 0.37 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, en cada uno. Entre *Bosque de pinos* y los demás usos se encontraron diferencias altamente significativas. En los dos horizontes restantes, *Bosque de pinos* sigue como el uso con mayor volumen específico poral, con valores de 0.52 y 0.45 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ en los horizontes A3 y B1, respectivamente. En el horizonte A3 existen diferencias altamente significativas. El comportamiento de la *vep* con respecto a la profundidad es similar al del volumen específico de aire, debido a que este último representa la mayor parte del volumen específico poral, lo que hace que su conducta esté relacionada. En este caso, al igual que en el anterior, el *vep* en *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* tienen una tendencia similar.

III.1.2.- Volumen de suelo

La Figura 3.3 muestra la conducta la densidad del suelo (*Ds*) en cada uno de los cuatro usos de la tierra. Se observa que el horizonte A1, la mayor *Ds* corresponde a los usos bajo gramíneas (*Caña de azúcar* y *Pasto natural*). En estos sitios se determinó que la densidad del suelo es de 1.50 y 1.35 Mg m^{-3} , sin encontrarse diferencias significativas entre ambos. Tampoco difieren significativamente *Pasto natural* y *Bosque mixto* (1.16 Mg m^{-3}), sin embargo, *Caña de azúcar* y *Pasto natural* si tienen diferencias altamente significativas con las áreas de bosque virgen de coníferas (*Bosque de pinos*, con 0.96 Mg m^{-3}).

La baja densidad del suelo en el horizonte A de las áreas boscosas, comparada con la de los usos agropecuarios, parece estar dada, en el caso de *Bosque mixto*, por un mayor contenido de materia orgánica; lo cual favorece la estabilidad de los agregados, la preservación de la estructura del suelo y disminuye los riesgos de compactación. En el caso de *Bosque de pinos*, un contenido mucho menor de inclusiones, pudiera ser la razón por la que presenta también una baja densidad del suelo. Al utilizar este parámetro para estimar el grado de deterioro del suelo en *Caña de azúcar* y *Pasto natural*, se aprecia, debido a su incremento, una degradación de la estructura del suelo, bien sea por compactación o por la pérdida de la materia orgánica. En estos usos es posible esperar una disminución de la porosidad total y el aumento de la resistencia del suelo a la penetración.

La diferencia entre los contenidos de materia orgánica en *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* se debe a que, según Pritchett (1991), la hojarasca producida por los bosques caducifolios se descompone con relativa rapidez, para transformarse en humus enriquecido; en tanto que la hojarasca formada por las espículas de los bosques de coníferas es bastante resistente a la descomposición y fuertemente ácida.

En el horizonte A3 los mayores valores de densidad del suelo se obtuvieron en *Bosque mixto*, *Caña de azúcar* y *Pasto natural*, con 1.62, 1.59 y 1.59 Mg m⁻³, respectivamente. Entre las tres áreas estudiadas no existen diferencias significativas, y sí se encontraron diferencias altamente significativas al comparar los tres usos con el *Bosque de pinos*, que fue el que menor densidad del suelo manifestó, con 1.22 Mg m⁻³.

En el horizonte B1, *Bosque mixto* continuó como el uso de mayor densidad del suelo (1.58 Mg m⁻³), seguido por *Caña de azúcar* (1.56 Mg m⁻³) y *Pasto natural* (1.51 Mg m⁻³). El uso *Bosque de pinos*, al igual que en los horizontes superiores, continuó como el de menor D_s , pues solo arrojó valores de 1.32 Mg m⁻³. No se observaron diferencias significativas entre los cuatro usos de la tierra.

En las áreas de *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* existe una marcada tendencia de la densidad del suelo a aumentar a la vez que se avanza hacia los horizontes inferiores del perfil. En el *Bosque de pinos* este incremento es constante, a diferencia de *Bosque mixto* que aumenta con mayor brusquedad al pasar del horizonte A1 al A3, para luego decrecer ligeramente en el horizonte B1. En *Pasto natural* esta tendencia es menos acentuada y su disminución en el horizonte B1 con respecto al horizonte A3 es más substancial que en *Bosque mixto*.

De esta manera, el aumento de la densidad del suelo hacia los horizontes inferiores en los usos *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* permite suponer una disminución de la materia orgánica, pues en los suelos bajo bosque está se acumula en grandes cantidades en la superficie del suelo y decrece drásticamente a los pocos centímetros de profundidad. Al contrario de lo que ocurre en los usos bajo gramíneas, donde la poca variación de los valores de densidad del suelo, está acorde con el desarrollo de horizontes isohúmicos propios de estos tipos de vegetación.

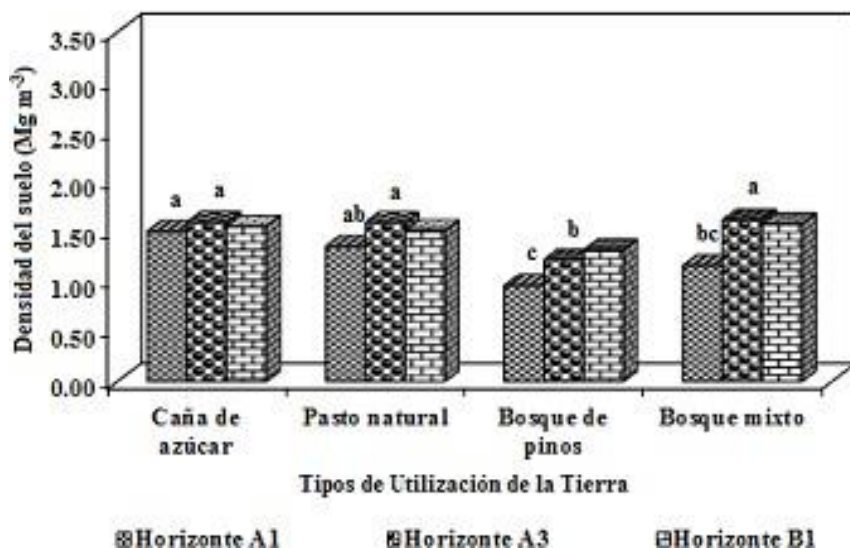


Figura 3.3.- Comportamiento de la masa de volumen de suelo. La comparación múltiple de medias de Duncan es por horizontes entre los usos de la tierra.

En *Caña de azúcar* el incremento de la densidad del suelo con la profundidad, comparada con los otros usos de la tierra, no es considerable. Resulta notable que los lugares donde se encuentran ubicados los bosques vírgenes, tengan una menor densidad del suelo que aquellos donde se practica la agricultura, y que estas diferencias vayan en disminución a medida que decrece, con la profundidad, la influencia del tipo de vegetación sobre las propiedades físicas del suelo. Los mayores valores de densidad del suelo en *Caña de azúcar* pudieran estar relacionados con la destrucción de los agregados del suelo, debido a la escasez de materia orgánica como factor de estructuración. Lo que provoca la disminución de la porosidad y el aumento de la resistencia del suelo a la penetración, con el consiguiente aumento de la compactación, pérdida de la fertilidad e incremento de la erosión. Además, el comportamiento de esta propiedad física en *Caña de azúcar* y *Pasto natural* señala que existe una capa compactada subsuperficial (horizonte A3) que impide el adecuado desarrollo radical, dificulta el drenaje interno e impide la aireación del suelo.

Rodrigues *et al.* (2009) en Oxisoles del Estado de Río Grande do Sul, Brasil, plantados comercialmente con la rotación tradicional de cultivos de la región (maíz-avena-soya-trigo) encontraron rangos de entre 1.38-1.58 Mg m⁻³ de densidad del suelo. Tormena *et al.* (2008) al comparar la densidad del suelo en Oxisoles con distintos usos de la tierra encontraron que esta era de 1.52 Mg m⁻³ en áreas bajo bosque semideciduo nativo. Mientras que, en zonas dedicadas a diversas actividades agrícolas, como los cultivos anuales con una preparación de tierra convencional o dedicadas a la producción de pastos, estos autores encontraron valores de 1.86 y 1.75 Mg m⁻³, respectivamente. De la misma forma Balarezo *et al.* (2007) en áreas contiguas bajo bosque virgen y dedicadas a pasto, registraron una menor densidad del suelo en el primer uso de la tierra mencionado. A su vez Moreira *et al.* (2012), en áreas bajo pastoreo en un sistema de integración agropecuario en Oxisoles del estado de Paraná, determinó una densidad del suelo ligeramente menor a la encontrada en el uso *Pasto natural* de Pinares de Mayarí.

También Torres *et al.* (2011) al evaluar los suelos Oxisoles de la región nordeste del estado de Paraná, notaron en áreas de caña de azúcar, pasto y bosque estacional semideciduo una disminución progresiva de la densidad del suelo en ese mismo orden. A su vez, Costa *et al.* (2003), al comparar el efecto a largo plazo de dos sistemas de preparación de tierra (labranza convencional y siembra directa) en experimentos de larga duración plantados con soya en Oxisoles con el estado de las propiedades físicas del suelo en un bosque adyacente al área de estudio, encontraron que el uso agrícola de los suelos provoca un aumento de la densidad del suelo, independientemente del tipo de manejo empleado.

Algo semejante ocurre en un Rhodic Ferralsol del noroeste del estado de Paraná en Brasil, donde Araujo *et al.* (2004) determinaron que la densidad del suelo era mayor en un área cultivada de manera tradicional que en otra ocupada por un bosque semideciduo estacional. Por otra parte, Baquero *et al.* (2012) al determinar la densidad del suelo en plantaciones de caña de azúcar en Oxisoles ubicados en el mismo estado no observaron diferencias significativas entre los diferentes tipos de manejo; pues encontraron valores promedio, en los primeros 40 cm, de 1.46-1.49 Mg m⁻³. Al comparar estos resultados con los obtenidos en áreas de vegetación boscosa (1.19 Mg m⁻³), sí se determinó que existen diferencias significativas. A resultados similares al comparar suelos bajo una vegetación originaria, considerados como representativos de una condición estructural original, con áreas bajo diferentes usos arribaron Rosa *et al.* (2003), Spera *et al.* (2004) y Abrishamkesh *et al.*, (2011).

Según la clasificación dada por la Dirección General de Suelos y Fertilizantes (1984) la densidad del suelo en los usos de la tierra *Caña de azúcar* y *Pasto natural* se considera dentro de la categoría de **alta**, mientras que la de *Bosque de pinos* es **baja** y *Bosque mixto* es catalogada de **mediana a alta**.

Con respecto a la humedad volumétrica, Como muestra la Figura 3.4, en el horizonte A1 se encontraron diferencias significativas al cotejar la humedad en *Pasto natural*, *Caña de azúcar* y *Bosque de pinos* con la encontrada en *Bosque mixto*. Los valores fueron de 0.48, 0.47, 0.44 y 0.34 cm cm^{-3} , respectivamente. Al transitar hacia el horizonte A3, la mayor humedad volumétrica se observó en *Bosque de pinos* (0.53 cm cm^{-3}), el cual tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos. También el área plantada con *Caña de azúcar* (0.48 cm cm^{-3}) mostró diferencias altamente significativas con las áreas bajo *Pasto natural* (0.42 cm cm^{-3}) y *Bosque mixto* (0.38 cm cm^{-3}). En el horizonte B1, *Bosque de pinos* continuó con altos valores de humedad volumétrica (0.56 cm cm^{-3}) y mostró diferencias altamente significativas con *Caña de azúcar*, *Pasto natural* y *Bosque mixto*, los cuales presentaron cifras de 0.46, 0.45 y 0.42 cm cm^{-3} , respectivamente. Estos resultados se manifiestan similares con los obtenidos por Costa *et al.* (2003) para diferentes sistemas de preparación de tierra en experimentos de larga duración sobre Oxisoles plantados con soya y bosque nativo aledaño al área experimental, pues la humedad volumétrica osciló en un rango de entre 0.34 y 0.43 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Un examen de la conducta de la humedad volumétrica de los cuatro usos en el perfil de suelo demuestra que la misma aumenta progresivamente en las áreas boscosas (*Bosque de pinos* y *Bosque mixto*). Mientras que en *Caña de azúcar* aumenta en el horizonte A3, lo que dificulta el crecimiento y la penetración de las raíces; para descender, en el horizonte B1, por debajo del valor encontrado en el horizonte A1. En el caso del *Pasto natural*, la tendencia general es al decrecimiento, este proceso es mucho más notable en los horizontes superiores del suelo. El aumento del contenido de humedad, expresada en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, en el uso *Bosque de pinos* a medida que se profundiza en el perfil, indica la disminución de la resistencia del suelo a la penetración. Kaiser *et al.* (2009) y Silva *et al.*, (2009) reportaron en Oxisoles un comportamiento similar para la resistencia del suelo a la penetración al encontrar una relación exponencial e inversa entre ambas propiedades físicas mencionadas.

Por otro lado, Genro *et al.* (2004), en un Oxisol ubicado en el estado de Rio Grande do Sul plantado con cuatro rotaciones de cultivo diferentes encontró una relación lineal e inversa

entre la humedad volumétrica y la resistencia del suelo a la penetración. Asimismo, en el caso del *Bosque de pinos*, este aumento de la Humedad volumétrica refuerza lo expresado con anterioridad sobre el aumento de la densidad del suelo.

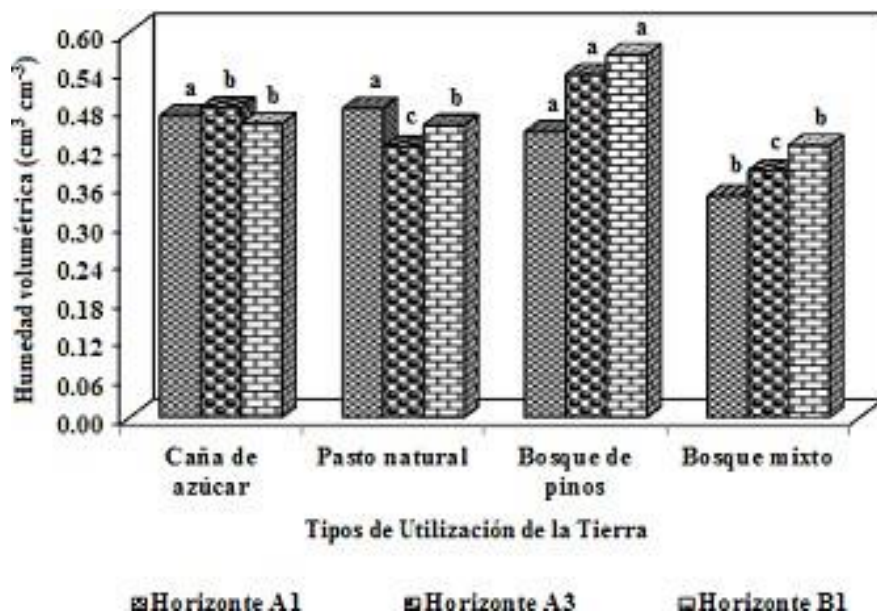


Figura 3.4.- Comportamiento de la Humedad volumétrica. La comparación múltiple de medias de Duncan es por horizontes entre los usos de la tierra.

La Figura 3.5 muestra los resultados de las porosidades del suelo. En el horizonte A1 la mayor porosidad total (*Pt*) se determinó en *Bosque de pinos*, en este uso de la tierra dicha propiedad física alcanzó un porcentaje del 70.41%. Este uso tiene diferencias altamente significativas con el *Bosque mixto*, *Caña de azúcar* y *Pasto natural*, en los que la porosidad total mostró valores del 52.64, 48.16 y 45.30%, respectivamente.

En los horizontes A3 y B1, *Bosque de pinos* continua como el uso de la tierra con mayor porosidad total (60.53 y 58.88%, respectivamente) y con diferencias altamente significativas con el resto de los usos. En todos los horizontes, *Pasto natural* fue el que menor porosidad total mostró. Jaramillo (2002) plantea que el uso pecuario tiene un efecto más nocivo sobre las propiedades físicas del suelo que las labores propias del cultivo agrícola. A su vez, Pedrotti *et al.* (2003), en el sur del estado de Minas Gerais, encontraron en varios Oxisoles valores de porosidad total de entre un 58 y un 67%.

Como se puede apreciar, la tendencia de la porosidad total a medida que se profundiza en el perfil del suelo, varía al ser comparados los suelos bajo bosque con aquellos en los que la

influencia antrópica se expresa a través de las actividades agrícolas. En las áreas de *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* la porosidad total disminuye gradualmente; en el caso del primero esta disminución es más brusca en los dos horizontes superficiales, estabilizándose en el horizonte B1. En *Caña de azúcar* y *Pasto natural*, aunque la porosidad total disminuye entre los horizontes A1 y A3, vuelve a aumentar hasta casi alcanzar los valores determinados en la superficie.

Silva *et al.* (2007), en un Oxisol plantado con mijo y sometido a seis niveles de compactación diferentes, descubrieron un descenso brusco de la macroporosidad a medida que aumentaba la compactación del suelo, sin que la microporosidad se viera casi afectada.

En el caso de *Caña de azúcar*, la porosidad total se considera **baja** en los tres horizontes. De la misma forma se cataloga en los horizontes A1 y B1 de *Pasto natural*, y llega a ser **muy baja** en el horizonte A3. En *Bosque de pinos* se considera **excelente. Satisfactoria** en el horizonte A1 de *Bosque mixto* y **baja** en los horizontes más profundos (Kaurichev *et al.*, 1984).

En el caso de la porosidad ocupada por el agua (P_w) o microporosidad en el horizonte A1, *Caña de azúcar*, *Bosque de pinos* y *Pasto natural* no tienen diferencias significativas entre sí, pues las cifras alcanzadas son bastante próximas las unas a las otras (37.39, 36.02 y 36.02% para cada una de ellos); sin embargo, se encontró que estos usos de la tierra diferían significativamente de *Bosque mixto*, que solo reveló una P_w del 24.25%. En el horizonte A3 se observa que hubo un incremento de la microporosidad en todos los usos, excepto en *Pasto natural*. El mayor porcentaje de porosidad ocupada por el agua correspondió al uso *Bosque de pinos*, el cual tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos de la tierra. También difiere de forma altamente significativa *Caña de azúcar* de *Pasto natural* y *Bosque mixto*. Entre estos dos últimos no se encontraron diferencias significativas. El uso de la tierra *Bosque de pinos* continúa, en el Horizonte B1, como la cubierta vegetal bajo la cual el suelo tuvo una mayor microporosidad (50.16%), el mismo difiere del resto de los usos de forma altamente significativa.

Con respecto a la porosidad ocupada por el aire (P_a) o macroporosidad determinada en la superficie, esta se manifiesta en mayores porcentajes en *Bosque de pinos* (34.39%) y *Bosque mixto* (28.39%), entre los que no existen diferencias significativas. Ambos tipos de bosques si mostraron diferencias altamente significativas con las áreas dedicadas a *Caña de azúcar* y

Pasto natural. En los horizontes subsuperficiales (A3 y B1) no se encontraron diferencias entre los usos de la tierra.

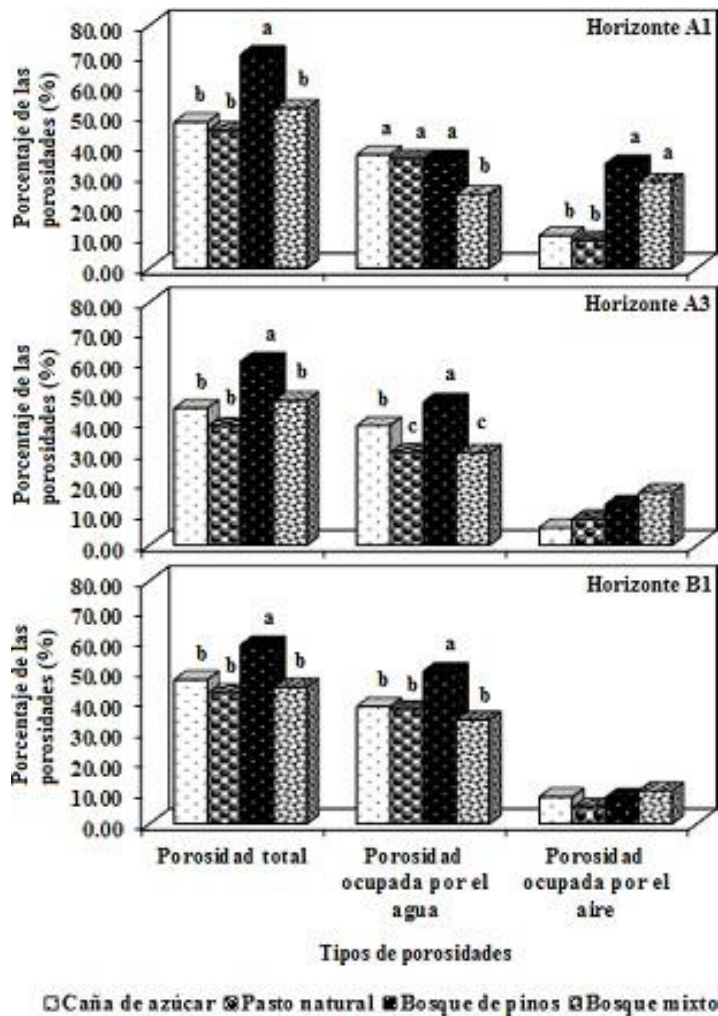


Figura 3.5.- Comportamiento de los constituyentes de suelo referidos al volumen de suelo en términos de volumen.

La relación microporos:macroporos está mejor compartimentada en los Ferríticos bajo áreas boscosas, debido probablemente a una mayor acumulación de humus en el suelo; lo que favorece la floculación de agregados esferoidales relativamente grandes y estables. Esto trae consigo una mejor aireación, porosidad, permeabilidad, velocidad de infiltración, drenaje, densidad del suelo y el desarrollo radicular. Por su parte, Albuquerque *et al.* (2001) plantean que, cuando el suelo se encuentra bajo una buena cobertura vegetal, como es el caso de las áreas bajo bosque virgen, la intensa actividad biológica que se desarrolla favorece una mejor formación y estabilidad de los agregados.

Silva *et al.* (2007) determinaron en un Oxisol del estado de São Paulo en Brasil, que una disminución de la macroporosidad, causa el descenso de la densidad del suelo y el aumento de la resistencia a la penetración. Lo que trae aparejada la disminución de la densidad y la superficie radicular. Valores de microporosidad mayores que los de macroporosidad, con independencia del uso de la tierra, determinaron Pedrotti *et al.* (2003), Baralezo *et al.* (2007) y Gontijo *et al.* (2008).

III.1.3.- Volumen de sólidos

En la Figura 3.6 se observan los valores de densidad de la fase sólida (Dfs) de los cuatro usos en cada uno de los horizontes. En el horizonte A1 la mayor densidad de la fase sólida se encontró en *Bosque de pinos* (3.30 Mg m^{-3}), seguido por *Caña de azúcar* (2.88 Mg m^{-3}), entre ambos usos no se encontraron diferencias significativas. El uso *Bosque de pinos*, al contrario de *Caña de azúcar*, si tiene diferencias significativas con *Bosque mixto* y *Pasto natural*. En estas áreas, en el orden mencionado, los valores de Dfs fueron de 2.51 y 2.48 Mg m^{-3} . En el horizonte A3 se determinó que en *Bosque mixto*, *Bosque de pinos*, *Caña de azúcar* y *Pasto natural* la densidad de la fase sólida fue de 3.16 , 3.09 , 2.90 y 2.63 Mg m^{-3} , sin diferencias significativas entre ellos. Tampoco se encontraron diferencias significativas, en el horizonte B1, entre *Bosque de pinos* y *Caña de azúcar* pues, en cada uno de ellos, la Dfs fue de 3.20 y 2.98 Mg m^{-3} .

Valores similares encontraron Ghidin *et al.* (2006) en la porción sur de la Meseta Brasileña, en el estado de Paraná, Brasil, donde la densidad de la fase sólida (Dfs) fue de 2.81 - 3.07 Mg m^{-3} . También encontró resultados aproximados la Dirección General de Suelos y Fertilizantes (1984) para los suelos de la serie Nipe (Ferríticos); a los que da una Dfs de 3.20 Mg m^{-3} .

La alta densidad de la fase sólida obtenida en *Bosque de pinos* apunta a una mineralogía dominada por óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y goetita, fundamentalmente); a su vez, en el otro uso bajo bosque (*Bosque mixto*), los valores de Dfs mucho más bajos pueden haber estado favorecidos por los altos contenidos de carbono orgánico proveniente de la biomasa fácilmente degradable aportada por la vegetación de latifolias.

Los resultados obtenidos resultan ligeramente superiores, comparados con los obtenidos por Pedrotti *et al.* (2003) en los horizontes superficiales y subsuperficiales de Oxisoles del sur de Minas Gerais, que encontraron en los horizontes A y Bw, densidades de la fase sólida de 2.63

hasta 2.85 Mg m^{-3} . También Oliveira *et al.* (2003), en parcelas experimentales sobre Oxisoles bajo diferentes usos y manejos, vegetación nativa (sabana), siembra directa y preparación de tierra tradicional, pertenecientes al Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados, Planaltina (DF), determinaron que la *Dfs* varía entre $2.63\text{-}2.72 \text{ Mg m}^{-3}$, en la profundidad de 0-5 cm y entre $2.65\text{-}2.67 \text{ Mg m}^{-3}$, de 20-30 cm.

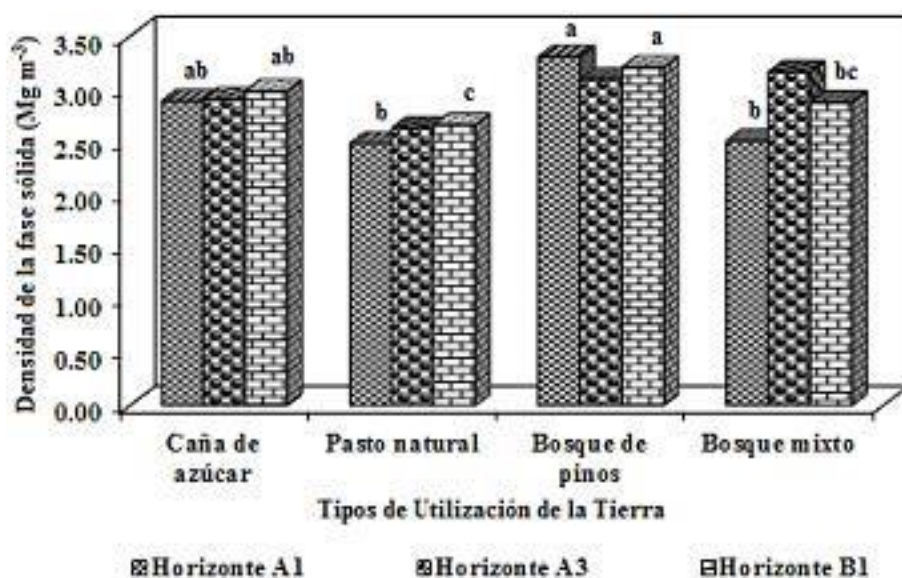


Figura 3.6.- Comportamiento de los constituyentes del suelo referidos a volumen de sólidos en términos de masa. La comparación múltiple de medias de Duncan es por horizontes entre los usos de la tierra.

La Figura 3.7 muestra el comportamiento de los índices volumétrico, de agua y de aire. En los tres horizontes, el uso de la tierra con mayor índice volumétrico o de poros (*e*) fue *Bosque de pinos*, el cual tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos. Los índices de poros obtenidos en *Bosque de pinos* son de 2.49, 1.58 y 1.44 en los horizontes A1, A3 y B1, respectivamente.

Con respecto al índice de agua (*ew*) en el horizonte A1 los resultados obtenidos fueron de 1.14 para *Pasto natural* y *Bosque de pinos*, y de 1.12 y 1.11 para *Bosque mixto* y *Caña de azúcar*, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas entre los usos de la tierra. En el horizonte A3, *Bosque de pinos* es el de mayor *ew* (0.14), el cual tiene diferencias altamente significativas con el resto de los usos de la tierra. Las áreas con fuerte influencia antrópica tuvieron un comportamiento similar, pues *Caña de azúcar* y *Pasto natural* mostraron un *ew* de 0.10, sin encontrar diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, ambos usos si mostraron diferencias altamente significativas con *Bosque mixto* (0.08), que fue el de menor *ew*. En el

horizonte B1, *Bosque de pinos* continuó con el mayor índice de agua (0.14), y no manifestó diferencias significativas con *Pasto natural* (0.11). Este último tampoco difiere de forma significativa de los usos *Caña de azúcar* (0.10) y *Bosque mixto* (0.09).

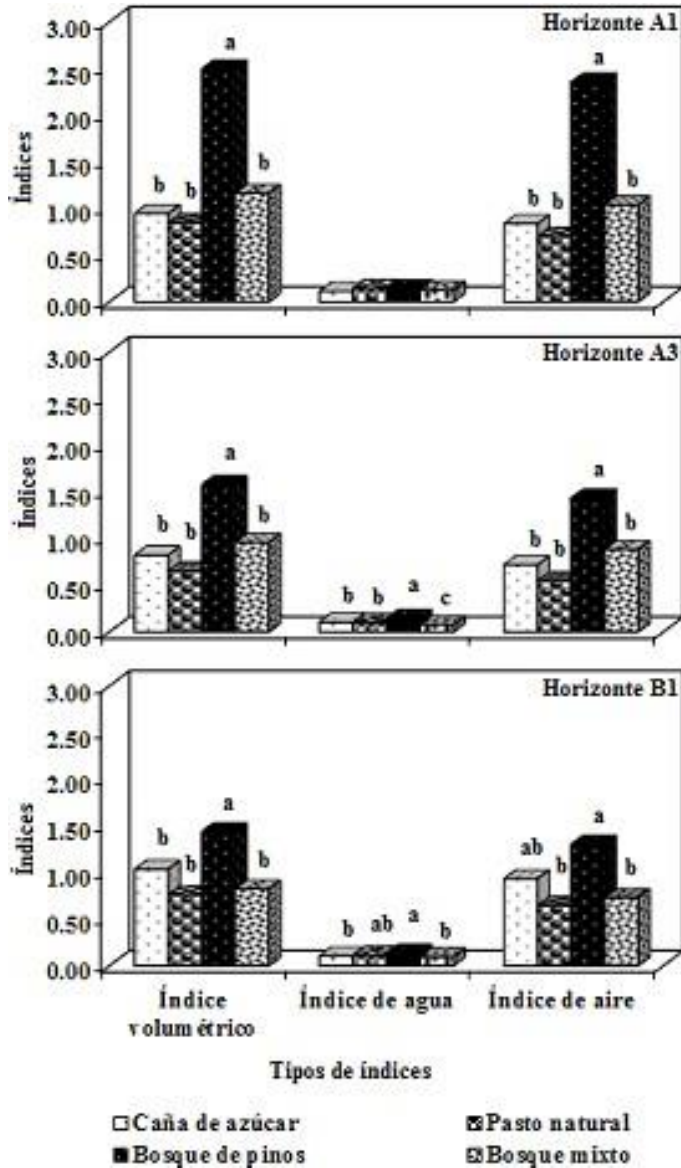


Figura 3.7.- Comportamiento del volumen de sólidos en términos de volumen en los cuatro usos de la tierra.

En el caso del índice de aire (*ea*), *Bosque de pinos* (2.35) continúa como el uso de la tierra con mayores valores alcanzados. Este comportamiento se manifiesta en el horizonte A1, donde muestra diferencias altamente significativas con *Bosque mixto* (1.04), *Caña de azúcar* (0.84) y *Pasto Natural* (0.70). Estos tres últimos no muestran diferencias significativas entre sí. En el

horizonte A3, las diferencias de *Bosque de pinos* (1.43) con el resto de los usos de la tierra también son altamente significativas. Los valores obtenidos en *Bosque mixto*, *Caña de azúcar* y *Pasto natural* fueron de 0.88, 0.72 y 0.55, respectivamente. En el horizonte B1, debido a la disminución de la influencia de la vegetación a medida que se profundiza en el suelo, los resultados obtenidos en las diferentes áreas tienden a homogeneizarse. El uso *Bosque de pinos*, que es el de mayor índice de aire, difiere significativamente de los usos de la tierra *Caña de azúcar*, *Bosque mixto* y *Pasto natural*. Los índices de aire fueron 1.30, 0.93, 0.73 y 0.65, respectivamente.

IV.- CONCLUSIONES

1. En *Bosque de pinos* la recarga de agua que procede de las precipitaciones es más eficiente debido a una mayor capacidad de almacenaje de humedad. Los mayores volúmenes específicos total, de aire y poral, una menor densidad del suelo y mayor porosidad total, así como una mejor relación de macroporos y microporos indica que en los suelos bajo los usos *Bosque de pinos* y *Bosque mixto* existe menos compactación, menor resistencia del suelo a la penetración, mejor aireación, mayor retención de humedad y adecuada conductividad hidráulica. Estos cambios se relacionan, en dependencia del uso de la tierra, con los contenidos de inclusiones, tipo, cantidad y lugar de la deposición de restos vegetales.

V.- RECOMENDACIONES

1. Las zonas con pendientes pronunciadas, carentes de vegetación o cercanas a los cursos de agua y orillas de embalses deben dedicarse a usos de la tierra boscosos con el fin de mejorar la estructura del suelo, aumentar la infiltración del agua, reducir la escorrentía, disminuir las pérdidas de la masa del suelo y evitar el azolvamiento de los espejos de agua.

VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrishamkesh, S., Gorji, M. y Asadi, H. 2011. Long-term effects of land on soil aggregate stability. *International Agrophysics*, 25: 103-108.
- Aguilera Contreras, M. y Martínez Elizondo, R. 1996. Relaciones agua suelo planta atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, 256 pp.
- Albuquerque, J. A., Sangoi, L. y Ender, M. 2001. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 717-723.
- Aleva, G. J. J. (compilador). 1994. Laterites, concepts, geology, morphology and chemistry. ISRIC. Wageningen, 169 pp.
- Amberger, A. 2006. Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics. International Fertilizer Industry Association & International Potash Institute. Paris, 96 pp.
- Andreola, F., Costa, L. M. y Olszewski, N. 2000. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24: 857-865.
- Araujo, M. A., Tormena, C. A. y Silva, A. P. 2004. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 337-345.
- Baisre, J. y Cárdenas, A. 1984. Aproximación a una definición del proceso de ferritización en los suelos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura*, 20: 53-57.
- Balarezo Giarola, Neyde Fabíola, Tormena, C. A. y Cassol Dutra, A. 2007. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 863-873.

- Baquero, J. E., Ralisch, R., Medina, Cristiane de Conti, Tavares, J. y Guimarães, Maria de Fátima. 2012. Soil physical properties and sugar cane root growth in a Red Oxisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 63-70.
- Betioli Jr., E., Moreira, W. H., Tormena, C. A., Jorge Bernabé Ferreira, Camila, Pires da Silva, Á. y Balarezo Giarola, Neyde Fabíola. 2012. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 971-982.
- Beutler, A. N., Centurion, J. F., Pessoa da Cruz Centurion, Maria Aparecida, Leonel, C. L., Gomes São João Andréia de Cássia y Silva Freddi, Onã da. 2007. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 1223-1232.
- Bennett, H. H. y Allison, R. V. 1966. Los suelos de Cuba. Edición Revolucionaria. La Habana, 375 pp.
- Buol, S. W., y Stokes, M. L. 1997. Soil profile alteration under long-term, high-input agriculture. En: R. J. Buresh, P. A. Sanchez y F. Calhoun (Eds.). *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA, ASA. Special Publication Number 51. Madison, Wisconsin, USA. 251 pp.
- Cairo Cairo, P. y Fundora Herrera, O. 2005. Edafología. Editorial Félix Varela, 2^{da} Edición, 1^{ra} reimpresión. La Habana, 477 pp.
- Cartes, M. y Vargas, Ximena. 2007. Balance hídrico en un lisímetro de drenaje. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile, 15 pp.
- Casanova, O. 1994. Introducción a la Ciencia del Suelo. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 375 pp.
- Casanova Pinto, M., Vera Elizondo, W., Luzio Leighton, W. y Salazar Guerrero, O. 2004. Edafología. Guía de clases prácticas. Universidad de Chile. Santiago, 75 pp.
- Castiglioni, M., Mazzoni, Daniela, Chagas, C., Palacín, E., Santanatoglia, O. y Massobrio, M. 2010. Distribución de poros en una ladera de Pampa ondulada cultivada con siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 28(2): 243-248.
- Deon, R. C.; Zilli, D.; Brandelero, G.; Machado, R. G. Compaction and water infiltration capacity of a cambisol by the traffic of machines and cattle trampling. *Revista Ciência Agrícola*, v.16, p.77-84, 2018.

<https://doi.org/10.28998/rca.v16i1.4088>

- Cid Lazo, G., Herrera, J., Sierra, L. O. y López Seijas, Teresa. 2004. Metodología para el manejo hidropedológico de los suelos con arcillas dilatables en Cuba. Parte I: Parámetros fundamentales para la caracterización física de los suelos. *Revista de Ciencias Técnicas agropecuarias*, 13(3): 7-12.
- _____, López Seijas, Teresa y González, Felicita. 2006. Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos. *Revista de Ciencias Técnicas agropecuarias*, 15(4): 42-47.
- Costa, F. S., Albuquerque, J. A., Bayer, C., Fontoura, S. M. V. y Wobeto, C. 2003. Propiedades físicas de un Latossolo bruno afectadas pelos sistemas plantio direto y preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 527-535.
- Cuéllar, I., de León, M., Gómez, A., Piñón, Dolores, Villegas, R. y Santana, I. 2003. Caña de azúcar. Paradigma de sostenibilidad. La Habana. Ediciones Publicinca. La Habana, 175 pp.
- _____, Villegas, R., de León, M. y Pérez, H. 2002. Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Ediciones Publicinca. La Habana, 127 pp.
- Czyż, E. y Dexter, A., 2009. Soil physical properties as affected by traditional, reduced and no-tillage for winter wheat. *International Agrophysics*, 23: 319-326.
- De, R., Schmuck, A. G., Perdigao, V. y Thielen, J. 2003. The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment. *Physics Chemicals Earth*, 28: 1291-1300.
- Defossez, P. y Richard, G. 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil Tillage Researchs*, 67: 41-64.
- Dirección General de Suelos y Fertilizantes. 1984. Manual de interpretación de los suelos. Editorial Científico-Técnica. La Habana, 136 pp.
- _____. 1985. Suelos de la provincia Holguín. Editorial Científico-Técnica. La Habana, 212 pp.
- FAO. 1987. Agriculture: Toward 2000. FAO. Roma, 59 pp.
- _____. 2006. World Reference Base for soil resources. A framework to international classification, correlation and communication. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 128 pp.

- _____.-UNESCO. 1989. Soil map of the world, Revised Legend. FAO, Roma/ISRIC, Wageningen, 138 pp.
- Geigel, F. B. 1979. Restauración de la vegetación en terrenos explotados y abandonados por la industria minera, en Ocuja de Mayarí. *Agrotecnia de Cuba*, 13(2): 155-162.
- Genro Jr., S. A., Reinert, D. J. y Reichert, J. M. 2004. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 477-484.
- Ghidin, A. A., de Freitas Melo, V., Costa Lima, V. y Jonasson Costa Lima, Jane Maria. 2006. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II.- Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 307-319.
- Gontijo, I., de Souza Dias Jr., M., Gontijo Guimarães, P. T. y Araujo Jr, C. F. 2008. Atributos físico-hídricos de um Latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 2227-2234.
- Hernández, María F. y Muñoz, J. F. 2009. Influencia de las curvas de retención de humedad en la estimación de la evaporación de acuíferos someros. En: O. Silva *et al.* (Eds.). *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. Vol IX. Barcelona, 1-8.
- Hernández Jiménez, A., Ascanio García, M. O., Morales Díaz, Marisol, Bojórquez Serrano, J. I., García Calderón, Norma E. y García Paredes, J. D. 2006. Fundamentos sobre la formación del suelo, los cambios globales y su manejo. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, 171 pp.
- _____., Bojórquez Serrano, J. I., Morell Planes, F., Cabrera Rodríguez, A., Ascanio García, M. O., García Paredes, J. D. y Madueño Molina, A. 2010. Fundamentos de la estructura de los suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, 79 pp.
- _____., Pérez Jiménez, J. M., Ascanio García, O., Ortega, F., Ávila, L., Cárdenas, A., y Marrero, A. 1975. II Clasificación Genética de los suelos de Cuba. *Revista de la Agricultura*, 8(1): 47-69.
- _____., Pérez Jiménez, J. M., Bosch Infante, D., Rivero Ramos, L. y Camacho Díaz, E. 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura. La Habana, 64 pp.
- Herrera Solano, A. y Milanés Ramos, N. 2007. Influencia de la fertilización mineral en el cultivo de la caña de azúcar. *Cuba & Caña*, (3): 19-23.

- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press. San Diego, 771 pp.
- Hylsky, J. 1970. Erosión en cárcavas. Academia de Ciencias de Cuba. *Ser. Oriente*, 7: 1-94.
- International Fertilizer Industry Association Task Force on Reactive Nitrogen. 2007. Sustainable management of the nitrogen cycle in agriculture and mitigation of reactive nitrogen side effects. International Fertilizer Industry Association. Paris, 53 pp.
- Instituto de Suelos. 1973. Génesis y clasificación de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, 315 pp.
- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 1996. Los suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Instituto Nacional de investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. 45 pp.
- _____. 2007. Instructivo técnico para la producción y el cultivo de la caña de azúcar. Dirección de Producción de Caña, Instituto Nacional de investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana, 146 pp.
- Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, 613 pp.
- Jordan López, A. 2006. Manual de Edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla. Sevilla, 143 pp.
- Kaiser, D. R., Reinert, D. J., Reichert, J. M., Collares, G. L. y Kunz, M. 2009. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 845-855.
- Kaúrichev, I. S., Panov, N. S., Stratonóvich, M. V., Grechin, I. P., Sávich, V. I., Ganzhara, N. F. y Mershin, A. P. 1984. Prácticas de Edafología. Editorial Mir. Moscú, 280 pp.
- Kern, J. S. 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physicals properties. *Soil Science Society of America Journal*, 59(4): 1134-1141.
- Kirkby, M. J., Bissonais, Y. L., Coulthard, T. J., Daroussin, J., y McMahon, M. D. 2000. The development of land quality indicator for soil degradation by water erosion. *Agricultural Ecosystems Environmental*, 81: 125-135.
- Lerch, G. 1984. Diagramas climáticos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, 42 pp.
- Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowińska-Jurkiewicz, A. y Sławiński, C., 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of silt loam soils of different genesis. *Soil Tillage Research*, 97: 239-246.

- López Canteñs, G., Herrera Puebla, J., Ostos Santos, A., Lizarraga Mendiola, L. y Hernández Ávila, J. 2010. Aplicación de modelos matemáticos para la obtención de la curva de retención de humedad del suelo. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6(1): 44-50.
- Marín, R., Kauffman, J. H., Villegas, R. y Sánchez, M. E. 1991. Suelos de referencia fuertemente meteorizados de las regiones central y noreste. *Soil Brief 3*. INICA, La Habana e ISRIC, Wageningen, 17 pp.
- Mas, J. F., Velázquez, A. y Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. Investigación ambiental. *Ciencia y Política Pública*, 1: 23-39.
- Mela Mela, P. 1970. Tratado de Edafología y sus distintas aplicaciones. Edición Revolucionaria, Instituto del Libro, 2^{da} Edición. La Habana, 615 pp.
- Mesa, A., Suárez, O., Hernández, Mayda, Tremols, J. y Clemente, B. 1982. Evaluación de los suelos de Cuba referida a 35 cultivos fundamentales. *Agrotecnia de Cuba*, 14(2): 23-32.
- Meyer, J., Rein, P., Turner, P. y Mathias, Kathryn. 2011. Good management practices manual for cane sugar industry. International Finance Corporation. Johannesburgo, 696 pp.
- Morales, Marisol, Hernández, A., Vantour, A. 2006. Reservas de carbono en suelos de diferentes ecosistemas de Cuba. *XV Congreso Científico del Instituto Nacional de ciencias Agrícolas* (CD-ROM). San José de las Lajas. Cuba.
- _____, Hernández, A., Vantour, A., Soto, F. y Baisre, J. 2001. Factores limitantes agroproductivos en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. *XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo* (CD-ROM). Varadero, Cuba.
- Moreira, W. H., Betioli Jr., E., Pim Petean, L., Tormena, C. A., Alves, S. J., Teixeira Costa, M. A. y Soares Franco, H. H. 2012. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 389-400.
- Moret Fernández, D., Vicente, J., Latorre, B., Castañeda, C., Paracuellos, E. Lera, F. 2011. Cámara de presión por TDR para la medida de la curva de retención de agua en muestras inalteradas de suelo. En: *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. Volumen X. Salamanca, 113-118.
- Mudarra, J. L., Martín-Aranda, J., Bravo, O. A. y Moreno, F. 1990. Influencia del uso sobre las características de suelos del orden de los Alfisoles en zona de clima mediterráneo

- (Huelva-España). *XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo*. La Habana, Cuba.
- Oliveira, G. C., Dias, M. S., Curi, N. y Resck, D. V. S. 2003. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo con a tensão de agua no solo, uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 773-781.
- Paz González A., Vieira S. R. y Taboada Castro M. T. 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97: 273-292.
- Pedrotti, A., Ferrerira, M. M., Curi, N., Silva, M. L. N., Lima, J. M. y Carvalho, R. 2003. Relação entre atributos físicos, mineralogía da fração argila e formas de aluminio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 1-9.
- Pelegrín, F., Moreno, F., Martín Aranda, J. y Camps, M. 1990. Evolución de la resistencia a la penetración en un suelo de la provincia de Sevilla (España), sometido a diferentes sistemas de laboreo. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. *XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo*. La Habana, Cuba.
- Pinto Juhász, C. E., Ribeiro Cursi, Patricia, Cooper, M., Campos Oliveira, Thalita y Ribeiro Rodrigues, R. 2006. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (cerradão) em Assis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 401-412.
- Plá Sentis, I. 2009. Retos para el futuro de la Ciencia del Suelo frente al cambio global. *XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo (CD-ROM)*. San José, Costa Rica.
- Ponce de León, D. y Balmaseda C. 1999. El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de azúcar. La Habana, 115 pp.
- Pritchett, W. L. 1991. Suelos forestales: Propiedades, conservación y mejoramiento. Editorial Limusa. México, D. F., 634 pp.
- Reichert, J. M., Albuquerque, J. A., Kaiser, D. R., Reinert, D. J., Lavarda Urach, F. y Carlesso, R. 2009. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1547-1560.
- Rodrigues Da Silva, V., Reichert, J. M., Reinert, D. J. y Campanhola Bortoluzzi, E. 2009. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two brazilians Oxisols under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1097-1104.
- Rogers, D. H. y Sothers, W. M. 1996. Soil, water and plants relationship. *Irrigation Management Ser.* Kansas State University. Manhattan, 4 pp.
- Rosa, M. E. C., Olszewski, N., Mendonça, E. S. Costa, L. M. y Correia, J. R. 2003. Formas de

- carbono em Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 911-923.
- Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Facultad de agronomía, Universidad de la República. Montevideo, 68 pp.
- _____, Utset Suástegui, A., Lau Quan, A., Herrera Puebla, J., Llanos, María Antonia. 1992. Tres modelos para la curva tensión-humedad en algunos tipos de suelos. *Revista Cubana de Física*, 12(1): 45-50.
- Ruz, E., García-Huidobro, J. y Akayaga, S. 1977. Caracterización hídrica y relaciones entre las propiedades físicas en suelos regados de la provincia de Santiago. II. Correlación de métodos para determinar constantes físicas. *Agricultura Técnica*, 37: 49-54.
- Salgado, E. 2001. Relación suelo-planta-agua. Ediciones Universitarias de la Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, 25 pp.
- Samek, V. 1969. La vegetación de la Isla de Pinos. Academia de Ciencias de Cuba. *Ser. Isla de Pinos*, 28: 1-28.
- _____. y Travieso, A. 1968. Climarregiones de Cuba. *Revista de la Agricultura*, 2(1): 5-23.
- Ségalen, P. 1973. Importancia y papel del hierro y del aluminio en los suelos de las regiones cálidas y húmedas. La Habana. Mecanografiado, 19 pp.
- Silva, G. J., Dias Valadão Jr., D., Bianchini, A., de Azevedo, E. C. y de Souza Maia, J. C. 2008. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 2135-2143.
- Silva Freddi, Onã da, Centurion, J. F., Beutler, A. N., Garcia Aratani, R. y Luarte Leonel, Ch. 2007. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 627-636.
- _____, Centurion, J. F., Pereira Duarte, A. y Salles Cunha Peres, Fernanda. 2009. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II. Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 805-818.
- Silva Guedes, Elaine Maria, Rodrigues Fernandes, A., Veras de Lima, Herdjanía, Pereira Serra, A., Ribamar Costa, J. y da Silva Guedes, R. 2012. Impacts of different management systems on the physical quality of an amazonian Oxisol. *Revista Brasileira de Ciência do*

- Solo*, 36: 1269-1277.
- Smith, E. E. 1953. The forests of Cuba. Tesis en opción al grado científico de D. Ph. Harvard University. Cambridge, 180 pp.
- Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects. *Soil Tillage Researchs*, 16: 179-201.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Handbook 18. United State Department of Agriculture. Washington, D.C, 437 pp.
- _____. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting Soil Survey. 2nd Edition. United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C, 869 pp.
- _____. 2010. Key to Soil Taxonomy. 11th Edition. United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C, 346 pp.
- Spera, S. T., Santos H. P., Fontaneli, R. S. y Tomm, G. O. 2004. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 533-542.
- Sławiński, C., Witkowska-Walczak, B., Lipiec, J. y Nosalewicz, A. 2011. Effect of aggregate size on water movement in soils. *International Agrophysics*, 25: 53-58.
- Taboada, M. A. y Micucci, S. N. 2009. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa deprimida al pastoreo rotativo. *Ciencia del Suelo*, 27(2): 147-157.
- Tecnicaña. 2007. Mecanización de la cosecha de caña de azúcar. *Tecnicaña*, 11(19): 31-32.
- Tormena, C. A., Fidalski, J. y Rossi Jr., W. 2008. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 33-42.
- Torres Viana, E., Batista, M. A., Tormena, C. A., Saraiva Da Costa, A. C. y Takeyshi Inoue, T. 2011. Atributos físicos e carbono orgánico en Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 2105-2114.
- Vantour, A., Hernández, A., Morales, M. y Garea, E. 2006. La diversidad pedológica de los sistemas montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y la Sierra Maestra. *VI Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo (CD-ROM)*. La Habana, Cuba.
- _____. Hernández, A., Morales, M., Ruíz, J., Baisre, J., Martín, G. Vega, H. y Garea, E. 2001. Las regiones edáficas para el cafeto del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. *XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo (CD-ROM)*. Varadero, Cuba.

- Vereecken, H., Huisman, J. A., Bogaen, H., Vanderborght, J., Vrugt, J. A. y Hopmans, J. W. 2008. On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water Resources Research*, 44: 21-29.
- Villamil, M. B., Amiotti, N. M. y Peinemann, N. 2000. Disminución del espesor del horizonte A por sobrepastoreo animal en la región sur del Caldenal. *XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo* (CD-ROM). Mar del Plata, Argentina.
- Orjuela-Matta, H.M., Y. Rubiano-Sanabria, and J.H. Camacho-Tamayo. 2011. Spatial variability of hydrodynamic parameters in the native savanna of the Colombian Eastern plains. *Agron. Colomb.* 29, 83-90.
- Villegas Delgado, R., Chang, Regla M. y González, M. 1998. Sostenibilidad del agroecosistema y evolución de características biogeoquímicas en estudios de larga duración con caña de azúcar. *Cuba & Caña*, (2): 11-17.
- Warkentin, B. P. 2008. Soil structure: A story from tilth to habitat. *Advances in Agronomy*, 97: 240-269.

VII.- ANEXOS

Anexo 1.- Algunas características edáficas de las áreas bajo los diferentes usos.

	Caña de azúcar	Pasto natural	Bosque de pinos	Bosque mixto
Tipo	Ferrítico Rojo Oscuro	Ferrítico Rojo Oscuro	Ferrítico Rojo Oscuro	Ferrítico Rojo Oscuro
Subtipo	Típico	Típico	Típico	Típico
Género	Sobre rocas ultrabásicas (material basal); medianamente desaturado (saturación)	Sobre rocas ultrabásicas (material basal); medianamente desaturado (saturación)	Sobre rocas ultrabásicas (material basal); fuertemente desaturado (saturación)	Sobre rocas ultrabásicas (material basal); medianamente desaturado (saturación)
Especie	Profundo, poco humificado, poco erosionado, muy concrecionario	Profundo, poco humificado, poco erosionado, muy concrecionario	Poco profundo, medianamente humificado, medianamente erosionado, muy concrecionario	Profundo, medianamente humificado, poca erosión, muy concrecionario
Variedad	Arcilla caolinítica (> 75%)	Arcilla caolinítica (> 75%)	Arcilla caolinítica (> 75%)	Arcilla caolinítica (> 75%)
Profundidad efectiva	Medianamente profundo (0.60 m)	Medianamente profundo (0.60 m)	Muy poco profundo (0.16 m)	Medianamente profundo (0.60 m)
Pendiente predominante	Ondulado	Ondulado	Fuertemente alomado	Ondulado
Altitud	Montañoso	Montañoso	Montañoso	Montañoso

Anexo 2.- Propiedades de los Ferríticos de Pinares de Mayarí.

Análisis químicos de la Arcilla Nipe (Bennett y Allison, 1966).

	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)
0-66	3.28	63.04	18.46	0.12	0.33	0.06	0.47	0.03
66-102	2.25	69.56	11.13	tr.	0.48	0.08	0.30	tr.
102-396	1.83	71.12	12.36	0.01	0.64	0.02	0.48	tr.
396-488	1.55	68.10	14.66	0.15	0.60	0.05	0.39	tr.
488+	41.93	7.84	2.00	1.50	34.02	0.08	0.36	tr.

Relaciones de la sílice con el hierro y el aluminio (Bennett y Allison, 1966).

Profundidad (cm)	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
0-66	0.139	0.302	0.095
66-102	0.086	0.344	0.069
102-396	0.069	0.252	0.054
396-488	0.061	0.180	0.045
488+	14.262	35.641	10.186

Propiedades químicas del perfil CU22 del NASREC tomadas en el 2001 (Martín *et al.*, inédito)¹.

Prof. (cm)	pH en H ₂ O	pH en KCl	M. O. (%)	Cationes intercambiables (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				Valor S (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
				Ca	Mg	K	Na	
0-20	5.36	5.36	4.37	3.69	1.19	0.08	0.07	5.03
20-70	5.56	6.42	1.24	0.87	0.14	0.02	0.02	1.05
70-110	6.37	6.78	1.24	2.61	0.82	0.04	0.03	3.50
110-150	6.11	6.86	0.95	1.30	1.72	0.02	0.04	3.08

Análisis mecánico de la Arcilla Nipe ⁽¹⁾, realizado por Bennett y Allison (1966) en 1928, adaptado a la Clasificación del USDA adoptada en 1938.

Prof. (cm)	Arena					Limo 0.05- 0.002 mm (%)	Arcilla < 0.002 mm (%)
	muy gruesa 2-1 mm (%)	gruesa 1-0.5 mm (%)	mediana 0.5-0.25 mm (%)	fina 0.25-0.1 mm (%)	muy fina 0.1-0.05 mm (%)		
0-66	11.5	7.9	2.6	6.5	11.0	16.6	44.5
66-102	5.8	6.1	2.6	6.9	10.2	18.9	49.8
102-396	0.2	1.9	1.6	6.2	8.4	25.7	55.9
396-488	2.2	3.3	1.6	6.4	10.8	32.2	43.7

¹ Se usó HCl y NaOH para la dispersión de las muestras.

¹ “Evolución de las características químicas de un suelo Anionic Acrudox en Holguín”. Martín Gutiérrez, G., Rodríguez Ortiz, Y., Cobo Vidal, Yakelín y Montero Sarria, Beatriz (inédito).

Contenido de inclusiones (>2 mm) en el horizonte A de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí.

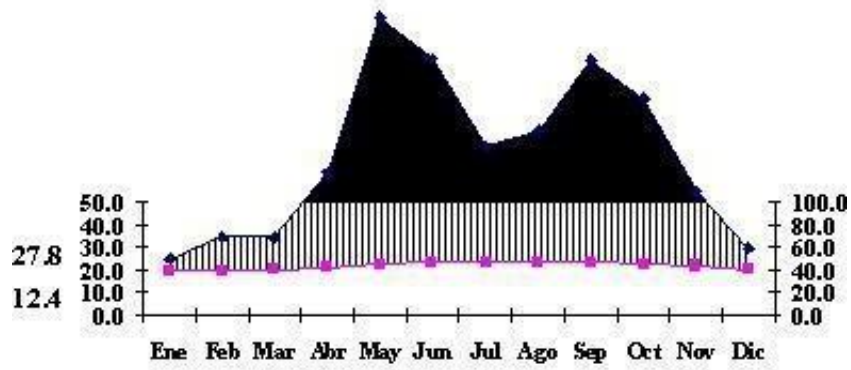
	Porcentaje de inclusiones >2 mm (%)
Caña de azúcar	17.16
Pasto natural	32.79
Bosque de pinos	17.47
Bosque mixto	26.76

Contenido y reserva de Carbono Orgánico del Suelo en el horizonte A de los suelos Ferríticos Rojos Oscuros típicos de Pinares de Mayarí.

	Carbono Orgánico del Suelo (%)	Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (t ha⁻¹)
Caña de azúcar	1.02	18.615
Pasto natural	1.79	24.511
Bosque de pinos	1.29	15.207
Bosque mixto	3.59	44.625

Anexo 3.- Diagrama climático de Pinares de Mayarí.

Pinares de Mayarí (668 m) 21.4° C 1 688



Anexo 4.- Esquema de muestreos en las parcelas de cada uno de los usos de la tierra.

Caña de azúcar										Pasto natural									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Bosque de pinos										Bosque mixto									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

Anexo 5.- Estadígrafos.

	Media	Varianza	Desviación estándar	Error estándar	Coficiente de variación
Parámetro de ajuste α	0.31	2.62	1.62	0.21	515.25
Parámetro de ajuste n	1.62	1.11	1.05	0.14	64.87
Humedad residual	0.17	0.02	0.14	0.02	83.08
Humedad de saturación	0.54	0.02	0.15	0.02	26.69
Humedad gravimétrica	0.33	0.01	0.08	0.01	24.49
Densidad del suelo	1.41	0.06	0.25	0.03	17.66
Humedad volumétrica	0.46	0.01	0.07	0.01	15.53
Densidad de la fase sólida	2.89	0.14	0.37	0.05	12.82
Volumen específico total	0.73	0.02	0.15	0.02	21.05
Volumen específico de sólidos	0.35	0.00	0.05	0.01	12.88
Volumen específico de agua	0.02	0.00	0.01	0.00	37.03
Volumen específico de aire	0.36	0.03	0.16	0.02	43.91
Volumen específico poral	0.38	0.03	0.16	0.02	42.73
Porosidad total	0.50	0.01	0.10	0.01	20.50
Porosidad ocupada por el agua	0.37	0.01	0.08	0.01	21.75
Porosidad ocupada por el aire	0.13	0.01	0.12	0.02	87.31
Índice volumétrico	1.13	0.35	0.59	0.08	52.73
Índice de agua	0.12	0.00	0.03	0.00	24.34
Índice de aire	1.01	0.34	0.58	0.08	57.78
Reserva máxima	0.56	0.01	0.09	0.01	15.67
Capacidad de campo	0.37	0.01	0.08	0.01	21.75
Punto de marchitez permanente	0.27	0.01	0.08	0.01	30.51
Humedad higroscópica	0.05	0.00	0.02	0.00	44.01
Agua útil	0.10	0.00	0.07	0.01	66.62