



06

06

Fecha de presentación: septiembre, 2016

Fecha de aceptación: octubre, 2016

Fecha de publicación: diciembre, 2016

Propiedades físico-químicas del suelo aluvial en la finca Morrocuya, Barinas para su uso sostenible

Physical-chemical properties of the aluvial soil in the Morrocuya farm, Barinas for sustainable use

MSc. Ramón Valentín Aro Flores¹

Dr. C. Alfredo Reyes Hernández²

E-mail: alfredo@uniss.edu.cu

Dr. C. Pedro Cairo Cairo³

MSc. Yusdel Ferras Negrín⁴

¹Alcaldía de Barinas. República Bolivariana de Venezuela.

²Universidad de Santi Spíritus. Cuba.

³Universidad de Atacama. Chile.

⁴Estación Experimental de Jibacoa. Santi Spíritus. Cuba.

¿Cómo referenciar este artículo?

Aro Flores, R. V., Reyes Hernández, A. R., Cairo Cairo, P., & Ferras Negrín, Y. (2016). Propiedades físico-químicas del suelo aluvial en la finca Morrocuya, Barinas para su uso sostenible. *Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea]*, 4 (2), 42-49. Recuperado de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

RESUMEN

El presente estudio se realiza en la finca *La Morrocuya*, parroquia Ciudad de Nutrias en el estado Barinas, a una altitud de 120 msnm con el objetivo de evaluar las propiedades físicas y químicas del suelo Aluvial de las áreas con vista a su utilización de forma sostenible. Para el desarrollo de la investigación han sido seleccionadas cuatro áreas, se toma en consideración el tipo de cultivo y uso: Primer área pasto de corte: King grass (*Pennisetum purpureum* L.); segunda, con pasto introducido: pasto estrella (*Cynodon plectostachium* L.), tercera, con bosque introducido, caoba (*Swietenia mahogani* L.) y la cuarta área en bosque natural. El muestreo se realiza en el mes de octubre del año 2013, se toman 9 muestras de cada área de estudio en bolsas plásticas identificadas sus profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm, respectivamente, para un total de 36 muestras. Se realizan comparaciones de medias según la prueba de Tukey para $p \leq 0,05$; matriz de correlaciones de Pearson, ecuaciones de regresión simples y componentes principales con el procesador estadístico IBM. SPSS. Stactistics (Versión 19.0 sobre *Windows*). El contenido de Ca, K y P expresados todos en mg.kg^{-1} varía en función de las profundidades estudiadas; los cambios porcentuales de las fracciones arena, limo y arcilla del suelo por profundidades depende del uso agrícola de cada área, y se seleccionan como propiedades del suelo indicadores de la sostenibilidad a la densidad aparente, la materia orgánica, la arcilla+limo máxima, porcentaje de arena y el pH en agua.

Palabras clave:

Fertilidad del suelo, materia orgánica, sostenibilidad, calidad del suelo.

ABSTRACT

The present study is carried out at the La Morrocuya farm, Ciudad de Nutrias parish in the Barinas state, at an altitude of 120 msnm with the objective of evaluating the physical and chemical properties of alluvial soil in the areas with a view to their sustainable use. For the development of the research, four areas have been selected, the type of cultivation and use is taken into account: First grass pasture area: King grass (*Pennisetum purpureum* L.); Second, with introduced grass: star grass (*Cynodon plectostachium* L.), third, with introduced forest, mahogany (*Swietenia mahogani* L.) and the fourth area in natural forest. Sampling is performed in October 2013, 9 samples from each study area are taken in plastic bags identified at depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, respectively, for a total of 36 samples. Comparisons of average were made according to Tukey's test for $p \leq 0.05$; Pearson's correlation matrix, simple regression equations, and major components with the IBM statistical processor. SPSS. Stactistics (Windows version 19.0). The contents of Ca, K and P expressed in mg.kg^{-1} varies depending on the depths studied; The percentage changes in soil sand, silt and clay fractions per depths depend on the agricultural use of each area. Soil apparent density, organic matter, clay + maximum silt, percentage of sand and pH in water are selected as properties indicating sustainability.

Keywords:

Soil fertility, Organic matter, sustainability, soil quality.

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos y recursos hídricos es el principal factor que atenta contra la sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras en América Latina, lo que conduce a crecientes dificultades para producir los requerimientos de alimentos y fibras para su creciente población. En algunos casos, estos procesos de degradación de los suelos ponen en peligro la resiliencia natural de los sistemas y su capacidad de recuperación CPP, (2014), dando paso a fenómenos de histéresis. El deterioro de las funciones de los ecosistemas reduce el potencial para adaptarse a los procesos de cambio climático (Álvarez, 2004).

Los problemas ecológicos en el suelo, por el agotamiento de sus recursos naturales y fertilidad, están acompañados de las tecnologías convencionales aplicadas. Las razones económicas y ecológicas que se han derivado de esta problemática han originado la necesidad de búsqueda urgente de alternativas de fertilizantes orgánicos, desechos animales, compost, minerales autóctonos y naturales (roca fosfórica, dolomita, zeolita) los cuales pueden contener nutrientes primarios como el P, K, Mg y S entre otros.

Los suelos con grandes limitantes para la producción de cultivos son los que más necesitan de la aplicación de una agricultura sostenible, ligado a la compactación y riesgos de erosión por su degradación física. Es necesario interpretar y predecir los efectos del manejo sobre la calidad del suelo a través de indicadores confiables y sensibles, lo que constituye una de las principales finalidades de la moderna ciencia del suelo. Los indicadores de calidad de los suelos son aplicados exitosamente en procesos de diagnósticos, extensión e investigación participativa, a escala de parcela, finca y paisaje. Los principales atributos de estos son la utilidad para una variedad de usuarios y tomadores de decisiones, por ser fáciles de usarlos en el campo, fáciles de interpretar, económicos y por integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, entre otras (Mendoza, 2014; Avilez, Mendoza & Aguirre, 2016).

El incremento de la producción de alimentos tiene que ir acompañado con la adopción de tecnologías conservacionistas que protejan la tierra, el medio ambiente y permitan la restauración de ecosistemas y suelos degradados por el intensivo uso agrícola e industrial (Lal, 2000).

La fertilidad del suelo muy baja, aunado a la variabilidad y características climáticas que en los últimos años han afectado significativamente la producción de secano, requiere de la implementación de alternativas de manejo que promuevan la sustentabilidad

de los sistemas de producción predominantes. La mayoría de los modelos de cambio climático predicen que los daños han de ser compartidos de manera desigual por agricultores pequeños del tercer mundo, y particularmente por aquellos que dependen de las lluvias. El incremento en temperatura, sequía, precipitaciones fuertes, etc.; pueden reducir la productividad hasta en un 50% en algunas regiones, especialmente en zonas secas. Algunos investigadores predicen que en la medida que el cambio climático reduzca los rendimientos, los efectos sobre el bienestar de las familias dedicadas a la agricultura de subsistencia pueden ser muy severos, especialmente si el componente de productividad es reducido (Altieriy, 2010).

Venezuela no escapa al panorama que presentan los países latinoamericanos a pesar de tener grandes extensiones de tierras fértiles y recursos hídricos importantes. En este país se han impuesto modelos de crecimiento que no han permitido conocer hasta qué punto se han degradado las propiedades físicas y químicas de sus suelos y en especial los aluviales pues siempre se percibe como única vía de desarrollo la renta petrolera, se olvidan por completo otros sectores productivos. Por lo antes expuesto el objetivo de la investigación ha sido evaluar las propiedades físicas y químicas de un suelo Aluvial en la finca La Morrocuya para su uso sostenible.

DESARROLLO

Materiales y métodos

El estudio ha sido realizado en la finca La Morrocuya, propiedad de la señora Magalys López ubicada en el sector La Salera de la parroquia Ciudad de Nutrias, municipio Sosa del estado Barinas (120 m sobre el nivel del mar), caracterizada climatológicamente por poseer temperaturas que oscilan desde los 22,6 hasta los 30,5°C; con una marcada distribución estacional, períodos de sequía y lluvioso bien definidos, con 1 394 mm de precipitación anual promedio.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionan cuatro áreas de las cuales se describen su precedente cultural, el tipo de cultivo y el tiempo de establecimiento:

Área 1. Pasto de corte: King Grass (*Pennisetum purpureum* L.) tiene tres años de establecido con un área total de 2 ha con una distancia de plantación de 1 m x 1 m (10 000 plantas ha⁻¹). Plantado con estacas de forma manual en el período lluvioso y con un aprovechamiento a partir de los 7 meses y luego con intervalos de corte de 45 días. En el momento de realización de la investigación se le habían realizado

15 cortes que se utilizan para la alimentación del ganado semiestabulado.

Área 2. Pasto introducido: Pasto estrella (*Cynodon plectostachium* L.) tiene seis años de establecido con área de 4 ha. Sembrado de forma manual a voleo en el período lluvioso. Con rotación de potreros de forma libre con una carga animal de 1,5 por hectárea.

Área 3. Bosque introducido: Caoba (*Swietenia mahogany* L.). La plantación tiene 15 años de establecida con una distancia de plantación de 3 m x 3 m (1111 plantas ha⁻¹) con un área total de 1,8 h. Los árboles se trasplan después de permanecer 6 meses en vivero.

Área 4. Bosque natural: Con predominio del guamo (*Inga sp.* L.) y el samán (*Pithecellobium samana* L.) entre otras especies arbóreas con una edad aproximada de 30 años y un área total de 3 h.

El muestreo se realiza en el mes de octubre del año 2013 en el periodo lluvioso. Se toman 9 muestras de cada área de estudio en bolsas plásticas identificadas, a las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-40 cm, respectivamente. Esto representa 3 réplicas y para un total de 36 muestras. Para coleccionar las mismas se ha seguido la metodología de Cairo & Reyes (2010), y la escala seguida es la de 1:20 000; cada 20 metros se abre una semicala hasta la profundidad de 50 cm de las cuales se tomaron las muestras de suelos a las profundidades antes mencionadas.

Las muestras puestas a la sombra, cuando están totalmente secas, se les realizan los análisis físicos y químicos en el laboratorio de análisis de suelos-plantas y nutrición del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ubicado en el estado Barinas.

Los análisis físicos y químicos realizados al suelo a la profundidad 0 – 10, 10 – 20 y 20 – 40 cm son los siguientes:

- » Textura (%): Método del hidrómetro de Bouyucu (López & Pérez, 1990).
- » Densidad aparente (g/cm³): Mediante el método del cilindro de capacidad de suelo y volumen conocido (Cairo & Reyes, 2010).
- » Fósforo y potasio asimilables (mg.kg⁻¹): Por el método de Olsen, extraídos con NaHCO 0,5M pH 8,5 (López & Pérez, 1990).
- » Calcio (mg.kg⁻¹): Por el método de Morgan modificado, extraído con Acetato de Sodio (CH₃COONa) 0,125 M, pH 4,2 (López & Pérez, 1990).

- » pH en agua: Por el método potenciométrico, relación suelo agua 1:2,5 (López & Pérez, 1990).
- » Materia orgánica (%): Por el método de combustión de Walkey y Black (López & Pérez, 1990).
- » Conductividad eléctrica (dS.m⁻¹): Método de conductimetría relación suelo agua 1:5 (López & Pérez, 1990).

Para la selección de las propiedades del suelo como indicadores de la sostenibilidad y calidad ha sido necesario estructurar una base de datos para realizar el cálculo de los valores máximos, mínimos y promedios de los indicadores físicos y químicos de los perfiles de suelo. Se someten las propiedades analizadas en la investigación a un análisis estadístico donde las herramientas utilizadas en este caso: Matriz de correlaciones de Pearson para determinar las propiedades que más correlacionan con respecto al total de indicadores, con un nivel de significación del 95 y 99%; con un coeficiente de correlación mayor que 0,7 para la construcción de curvas mediante el análisis de regresión simple que permiten la definición de los valores a alcanzar por los indicadores seleccionados mediante el paquete estadístico STATGRAPHICS (versión 5.0 sobre Windows). Análisis de componentes principales sobre la base de su ubicación en el primer componente con un coeficiente de determinación superior a 0,70 y comparaciones de las medias según la prueba de Tukey; con el paquete estadístico IBM. SPSS. Statistics (Versión 19.0 sobre Windows).

Resultados y discusión

Propiedades físicas y químicas del suelo Aluvial de las áreas de estudio a las profundidades 0-10, 10-20 y 20-40 cm

Las áreas de la finca La Morrocuya tienen porcentajes de arena, limo y arcilla en valores mínimos de 18, 32 y 14%, respectivamente, mientras que los valores máximos de estas propiedades son de 48, 52 y 32%, respectivamente; con valores promedios de (33,00; 44,58 y 22,42%), lo que denota que el suelo es franco limoso. Relacionado con lo antes expuesto es que el suelo en general cuenta en valores promedios de arcilla + limo de un 67% y una alta relación limo/arcilla (2,07) (Tabla 1). En el indicador evaluado al final, se observa que el resultado en todas las áreas no es adecuado, al considerar que Pagel, Enzmann & Mutscher (1992), ha expresado que cuando la relación limo/arcilla es inferior a 0,25 se manifiesta en los suelos un buen estado de agregación de las partículas de este con la materia orgánica.

Tabla 1. Estadígrafos descriptivos de las propiedades físicas y químicas de las áreas de estudio en las tres profundidades.

Propiedades	Estadísticos descriptivos			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación típica
Arena (%)	18,00	48,00	33,00	7,25
Limo (%)	32,00	52,00	44,58	4,78
Arcilla (%)	14,00	32,00	22,42	4,54
Arcilla + limo	52,00	82,00	67,00	7,25
Limo/arcilla	1,23	3,00	2,07	0,46
P (mg.kg ⁻¹)	3,90	42,00	15,79	11,58
K (mg.kg ⁻¹)	13,00	144,00	51,13	33,19
Ca (mg.kg ⁻¹)	169,00	297,00	221,33	34,18
M.O. (%)	1,60	4,35	3,13	0,83
pH(agua)	5,80	7,50	6,64	0,37
Conductividad ds.m ⁻¹	0,01	0,16	0,05	0,04
Da (g/cm ³)	1,18	1,35	1,27	0,045

Tanto el fósforo como el potasio asimilable y el calcio, expresados en mg.kg⁻¹ de suelo presentan medias de 15,79; 51,13 y 221,33 con los mayores valores de desviación típica (11,58; 33,19 y 34,18) respectivamente, aspecto que puede estar relacionado con lo planteado por Mesa, Colom, Tremols & Suárez (1992), que señalan que es muy importante para la mayoría de las especies agrícolas que la relación Ca/Mg se mantenga entre el rango de 2:1 y 6:1 porque incide en la disponibilidad de los nutrientes del suelo. También Cairo & Fundora (2005), manifiestan que el ion calcio (Ca²⁺) induce la floculación de la arcilla y al mismo tiempo, es importante en la nutrición y favorece el crecimiento de las raíces y microorganismos en el suelo, siempre y cuando exista materia orgánica.

La materia orgánica alcanza valores máximos de 4,35%, pero el valor medio es de 3,13% y para el pH(H₂O), se aprecia que los valores máximo, mínimo y promedio, no se diferencian.

La conductividad eléctrica del suelo no se tiene en cuenta para el resto de los estudios realizados porque el contenido de sales en su valor máximo es de solo 0,16 dsm⁻¹ que no perjudican el desarrollo de las especies de plantas de cada área.

Los resultados alcanzado con este tipo de interpretación corroboran lo expuesto por Cairo (2000), sobre la necesidad de tomar como referencia los valores promedios de las propiedades del suelo en estudio ya que Pérez & Mury (2004), plantean que el

conocimiento del estado físico y químico del suelo permite medir el nivel relativo de la fertilidad. Reyes (2006), define además como muy importante investigar las relaciones entre las propiedades.

Con respecto a la textura del suelo a la profundidad de 0 – 10 cm se aprecia que el mayor porcentaje de arena se encuentra en el área 1, dedicada al pasto King Grass con un 38%, que no difiere estadísticamente del área donde ha sido introducido el bosque. En el área 1 se ha puesto de manifiesto lo planteado por Comerma, et al. (2005), sobre la ocurrencia en ella de una mayor degradación con respecto al bosque natural, ya que es un proceso evolutivo asociado, debido al reemplazo de la vegetación por la actividad antrópica (Tabla 2).

Tabla 2. Textura y la densidad aparente del suelo de las áreas de estudio.

(Profundidad 0 – 10 cm)

Áreas de estudio	Arena	Limo	Arcilla	Arcilla + limo	Limo/arcilla	Da
	(%)					(g/cm ³)
1	38,00 ^a	45,33 ^{bc}	16,67 ^c	62,00 ^c	2,73 ^a	1,27 ^a
2	21,33 ^c	49,33 ^a	29,33 ^a	78,67 ^a	1,68 ^c	1,19 ^c
3	34,00 ^{ab}	44,00 ^c	22,00 ^b	66,00 ^{bc}	2,01 ^{bc}	1,21 ^{bc}
4	31,33 ^b	48,00 ^{ab}	20,67 ^{bc}	68,67 ^b	2,32 ^{ab}	1,23 ^b
EE=±	1,94	1,054	1,41	1,94	0,137	0,816
p-Value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

La fracción limo está en mayor porcentaje en el área 2 (pasto introducido) que no difiere con el área 4 (bosque natural), pero sí difiere estadísticamente del resto de las áreas. El porcentaje de arcilla mayor también corresponde al área 2 (pasto introducido) con un 29,33%, que difiere estadísticamente de las áreas estudiadas, es por eso que el área 2 alcanza la mayor cantidad de arcilla más limo máxima (78,67) y la menor relación limo/arcilla (1,68).

Lo que sucede de forma positiva en el área 2 está relacionado con lo expuesto por Rivera (1992), al considerar que el efecto del estiércol está más vinculado a la mejora de la acidez del suelo que a su contenido de elementos nutrientes, eleva el pH en agua, ya que no se observa lo planteado por Brul, Deiters & Van Elzakker (1995), al expresar que con el uso de los sistemas convencionales de agricultura ocasiona la degradación y la erosión del suelo.

También el valor más bajo de la densidad aparente corresponde al área 2, con 1,19 g/cm³, que no difiere estadísticamente del área 3 (bosque introducido).

Tanto el fósforo como el potasio asimilable, y el calcio, están en mayor cantidad en el área 3 (bosque introducido) que difiere estadísticamente del resto de las áreas estudiadas, con valores de 40, 142 y 295 mg.kg⁻¹ de suelo, respectivamente; aspecto que puede estar relacionado con los aportes de biomasa que realiza esta especie forestal (Tabla 3). Los resultados logrados al introducir el bosque está relacionado con lo planteado por Febles (2006), al referirse sobre el papel de los árboles en el proceso de reciclaje de nutrientes a través de la hojarasca.

Tabla 3. Propiedades químicas del suelo de las áreas de estudio.

(Profundidad 0 – 10 cm)

Áreas de estudio	Fósforo	Potasio	Calcio	(%)	pH (agua)
	(mg.kg ⁻¹)			Materia orgánica	
1	4,00 ^d	23,00 ^d	171,00 ^d	3,16 ^d	6,43 ^b
2	9,00 ^c	60,70 ^c	227,00 ^c	4,33 ^a	7,30 ^a
3	40,00 ^a	142,00 ^a	295,00 ^a	3,93 ^b	6,90 ^{ab}
4	21,00 ^b	82,00 ^b	251,00 ^b	3,60 ^c	6,70 ^{ab}
EE=±	1,22	1,23	1,63	0,82	0,26
p-Value	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

En cambio, el mayor porcentaje de materia orgánica se encuentra en el área 2 (pasto introducido) con un 4,30%, además de contar con un valor de pH (H₂O) de 7,3; que difiere estadísticamente del resto de las áreas estudiadas. El segundo indicador en la misma área no difiere estadísticamente con las áreas 3 y 4, aspecto que puede estar relacionado con el uso de la misma para la explotación y alimentación de la masa ganadera.

Los resultados positivos en cuanto al contenido de materia orgánica y nutrientes de las áreas 3 y 4 coincide con lo planteado por la FAO (2000), al expresar que los árboles mejoran el porcentaje materia orgánica de los suelos, reducen la lixiviación y mejoran las propiedades físicas de los mismos; y por ende las raíces de las plantas al contribuir a la estabilización del suelo pueden constituir según Farrell & Altieri (1997), una de las fuentes de fósforo que pueden tener disponible el cultivo

como resultado de la acumulación de materia orgánica bajo el dosel; al mismo tiempo existe un aumento del potasio, nitrógeno, calcio, magnesio y de hecho el intercambio catiónico también se incrementa.

A la profundidad de 10 – 20 cm, los mayores porcentajes de arena se encuentran en las áreas 1 y 4 y para el caso del limo y la arcilla, se aprecia que el mayor porcentaje se encuentra en el área 4, pero no difiere estadísticamente su contenido con respecto al área 2, mientras que el mayor porcentaje de arcilla sigue siendo en el área 2, que no difiere del área 4. La mayor cantidad de arcilla+limo corresponde al área 2, sin diferencias significativas del área 3 y la menor relación limo/arcilla se encuentra en el área 4 (bosque natural). La densidad aparente no difiere su valor entre las áreas 1, 4 y 3, pero sí del área 1 con respecto al área 2 (Tabla 4).

Tabla 4. Textura y densidad aparente del suelo de las áreas de estudio

(Profundidad 10 – 20 cm)

Áreas de estudio	Arena	Limo	Arcilla	Arcilla+limo	Limo/arcilla	Da (g/cm ³)
	(%)					
1	38,66 ^a	43,33 ^b	18,00 ^c	61,33 ^b	2,41 ^a	1,29 ^a
2	27,33 ^b	46,00 ^{ab}	26,66 ^a	72,66 ^a	1,73 ^b	1,25 ^b
3	27,33 ^b	34,33 ^c	22,00 ^b	72,66 ^a	2,30 ^a	1,27 ^{ab}
4	40,33 ^a	50,67 ^a	25,33 ^a	59,66 ^b	1,36 ^b	1,29 ^a
EE=±	1,84	2,198	0,666	1,84	0,127	0,815
p-Value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

Las áreas 2, 3 y 4 tienen mejor estado de sus propiedades físicas, aspecto que pueden estar relacionado con lo planteado por Cairo & Fundora (2005), al expresar que los árboles son eficaces en el control de la erosión porque la copa y la hojarasca reducen la erodabilidad por impacto de las gotas de lluvia y consideran que los residuos vegetales, tanto el follaje como la raíz, proporcionan la base alimentaria de los microorganismos del suelo, que son uno de los principales factores de agregación de las partículas.

Las propiedades químicas a la profundidad 10 – 20 cm denotan que la mayor cantidad de fósforo, potasio y calcio se encuentran en el área 2, con 18; 3 y 246 mg.kg⁻¹ de suelo, respectivamente. El

mayor porcentaje de materia orgánica corresponde al área 2, con 3,92%, que en todos los casos este valor difiere estadísticamente de las demás áreas estudiadas. En cuanto al pH no existieron diferencias significativas entre los valores determinados en las áreas (Tabla 5).

En el área 2 se favorece lo planteado por Reyes (2006), sobre la gran importancia que tiene la materia orgánica para los suelos, pues mejora la porosidad y aumenta la infiltración y la capacidad de almacenar el agua. Agrega el autor que en los suelos compactados el contenido de materia orgánica hace que se vuelvan más suaves, crea estructura favorable para el crecimiento de las raíces; es fuente permanente y gran reserva de nutrientes para las plantas; alimenta a los microorganismos, los cuales al morir se convierten también en nutrientes y regula el pH para que no esté muy ácido ni muy alcalino.

Tabla 5. Propiedades químicas del suelo de las áreas de estudio.

(Profundidad 10 – 20 cm).

Áreas de estudio	Fósforo	Potasio	Calcio	Materia orgánica	pH (agua)
	(mg.kg ⁻¹)			(%)	
1	3,97 ^c	30,00 ^c	232,00 ^b	2,93 ^c	6,43
2	18,00 ^a	53,00 ^a	246,00 ^a	3,92 ^a	6,73
3	8,00 ^b	14,00 ^d	174,00 ^c	3,67 ^b	6,90
4	8,00 ^b	41,00 ^b	228,00 ^b	2,14 ^d	6,60
EE=±	1,22	1,29	1,63	0,031	0,16
p-Value	0,000	0,000	0,000	0,000	NS

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

Las propiedades relacionadas con la textura del suelo a una profundidad de 20 – 40 cm indican que el mayor porcentaje de arena se encuentra en el área 1 (46%), que corresponde con la de menor cantidad de arcilla, que difiere estadísticamente del resto de las áreas estudiadas. La relación limo arcilla mayor se encuentra en el área 1 con un valor de 2,85 con respecto al resto de las áreas, mientras que la densidad aparente no difiere estadísticamente entre ellas. Sin embargo, sí difiere en el caso del área 1 con respecto a la 2 (Tabla 6).

En el área 2 se pone de manifiesto lo planteado por Hellin (2004), al exponer que la estructura

del suelo forma agregados a través del arreglo y organización de sus partículas constitutivas (minerales, sustancias orgánicas, agua, aire) y que estas unidades dependen de partículas como la arcilla, óxidos de hierro, carbonatos, sílice y otros, así como de las actividades en el edafón y del clima.

Tabla 6. Textura y la densidad del suelo de las áreas de estudio.

(Profundidad 20 – 40 cm).

Áreas de estudio	Arena	Limo	Arcilla	Arcilla + limo	Limo/arcilla	Da (g/cm ³)
	(%)					
1	46,00 ^a	40,00 ^b	14,00 ^c	54,00 ^c	2,85 ^a	1,34 ^a
2	24,00 ^c	49,00 ^a	27,00 ^a	76,00 ^a	1,82 ^b	1,30 ^b
3	35,33 ^b	42,00 ^b	22,66 ^b	64,67 ^b	1,85 ^b	1,32 ^{ab}
4	32,33 ^b	43,00 ^b	24,67 ^{ab}	67,66 ^b	1,75 ^b	1,32 ^{ab}
EE=±	0,64	0,612	0,34	0,64	0,39	0,28
p-Value	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,009

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

En las propiedades químicas del suelo a una profundidad de 20 – 40 cm se aprecia que la mayor cantidad de fósforo y potasio asimilables corresponden al área 2, con valores de 37 y 57 mg.kg⁻¹ de suelo, respectivamente. Con respecto al calcio, la mayor cantidad se encuentra en el área 4 (bosque natural) con 231 mg.kg⁻¹ de suelo. En ambos casos existen diferencias estadísticas. A esta profundidad el mayor porcentaje de materia orgánica corresponde al área 4, con un 3,63% con diferencias significativas con el resto de las áreas, con el menor valor para el área 1, con un 1,8%. El mayor valor pH (H₂O) correspondió al área 3 con 6,87, que difiere estadísticamente del resto de las áreas (Tabla 7).

La presencia de árboles en las áreas 3 y 4 corroboran lo planteado por Hernández & Simón (1994), que manifiestan la función que tienen los mismos en el ciclo de nutrientes, así como en la estructura y el balance hídrico del suelo.

Altieri (1996), plantea los efectos ventajosos de los árboles sobre el suelo: mejoran el microclima de la zona y la temperatura del suelo y aire; son proveedores de *mulch* y abono verde; detienen las lluvias fuertes, limitan la erosión; proporcionan diversidad

al ecosistema y el sistema radicular mejora el drenaje y la aireación del suelo.

Tabla 7. Propiedades químicas del suelo de las áreas de estudio.

(Profundidad 20 – 40 cm)

Áreas de estudio	Fósforo	Potasio	Calcio	Materia orgánica	pH (agua)
	(mg.kg ⁻¹)			(%)	
1	12,50 ^c	27,80 ^c	187,00 ^d	1,80 ^c	6,16 ^b
2	37,00 ^a	58,00 ^a	211,00 ^b	2,36 ^b	6,23 ^b
3	11,00 ^c	39,00 ^b	203,00 ^c	2,11 ^b	6,87 ^a
4	17,00 ^b	43,00 ^b	231,00 ^a	3,63 ^a	6,36 ^b
EE=±	0,36	0,50	0,57	0,10	0,11
p-Value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Leyenda: 1-King Grass; 2-Pasto introducido; 3-Bosque introducido; 4-Bosque natural.

Medias con letras no comunes para una variable difieren por Tukey HSD a p-Value≤0,05.

Selección de propiedades del suelo indicadoras de la degradación

De la matriz de correlaciones entre las propiedades físicas y químicas para un nivel de significación del 95 y 99% se derivaron distintas ecuaciones de regresión y como ejemplo se ilustra la Figura 1. La relación negativa entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y la densidad aparente de las áreas en estudio muestra un coeficiente de correlación $r = -0,8024$, aspecto muy determinante en la cantidad de agua y aire que se puede desplazar hacia el interior del suelo sin causar degradación por concepto de erosión hídrica y acumulación excesiva de agua en la superficie del suelo y que favorece además, la mayor disponibilidad de nutrimentos en las áreas cuando existe la menor relación entre ambos indicadores.

Los bajos contenidos de materia orgánica del suelo siempre traen aparejados (independientemente del tipo de suelo) valores mayores de densidad aparente. Resultado que corrobora lo planteado por Magdoff (1997), al expresar que la materia orgánica constituye solo un porcentaje del peso de los suelos (1-6%), pero la cantidad y tipo influye en casi todas las propiedades que contribuyen a la calidad del suelo.

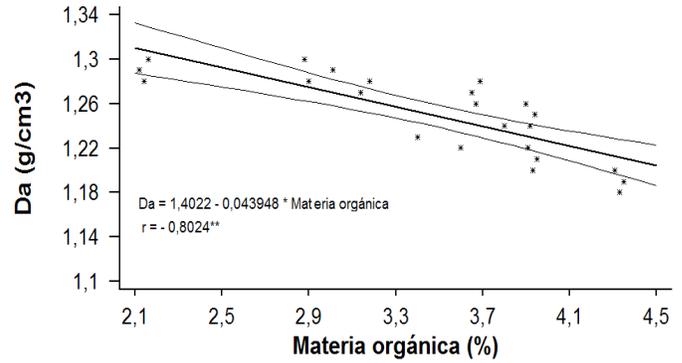


Figura 1. Relación entre el porcentaje de materia orgánica y la densidad aparente del suelo en g/cm³.

De la información que brinda matriz de correlaciones de Pearson se pudo cuantificar cuáles fueron las propiedades del suelo que alcanzan coeficientes de correlación por encima de 0,7 significativas y altamente significativas, se obtiene como resultado que las propiedades que más indicaron los problemas degradativos del suelo en estudio fueron las que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados de la cuantificación de las correlaciones significativas.

Propiedades	Correlaciones		Total
	99%	95%	
Arena (%)	6	0	6
Limo (%)	3	3	6
Arcilla + limo (%)	6	0	6
Arcilla	3	3	6
Materia orgánica (%)	5	1	6
pH(agua)	5	1	6
Densidad aparente (g/cm ³)	6	3	9

Las propiedades del suelo anteriormente señaladas indagando en qué sentido ha ocurrido la degradación de las áreas estudiadas ya que Berroterán & Zinck (2000), expresan que las mismas pueden ser seleccionadas sobre la base de criterios de diagnósticos que permitan escoger los factores y relaciones causa-efecto en el sistema.

Como se aprecia en la Tabla 9 la matriz de componentes principales extraídos demuestra que las propiedades del suelo que se ubican en el primer componente y determinantes para llevar a cabo una agricultura sostenible en las áreas estudiadas son: densidad aparente, materia orgánica, arcilla + limo, porcentaje de arena y pH en agua; que en todos los

casos alcanzan coeficientes de determinación superiores a 0,700.

Tabla 9. Matriz de componentes principales.

Propiedades	Componentes		
	1	2	3
Da (g/cm ³)	-0,880		
M.O. (%)	0,879		
Arcilla + limo	0,866		
Arena (%)	-0,866		
pH (agua)	0,754		
Ca (mg.kg ⁻¹)		0,832	
K (mg.kg ⁻¹)		0,754	
P (mg.kg ⁻¹)		0,703	
Limo (%)		-0,652	
Limo/arcilla			0,841
Arcilla (%)			

CONCLUSIONES

El contenido de Ca, K y P expresados todos en mg.kg⁻¹ varían en función de las profundidades estudiadas.

Los cambios porcentuales de las fracciones arena, limo y arcilla del suelo por profundidades depende del uso agrícola de cada área.

Las propiedades del suelo seleccionadas como indicadoras de la sostenibilidad son: la densidad aparente, la materia orgánica, la arcilla + limo, porcentaje de arena y el pH en agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., Nicholls, C. (2010). *Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. La biodiversidad en América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://www.biodiversidadla.org/>
- Altieri, M. A. (1996). *Bases agroecológicas para una agricultura sustentable*. La Habana: Félix Varela.
- Álvarez, A. (2004). *Panorámica de la actividad forestal cubana en relación con el cambio climático*. La Habana: MINAGRI.
- Avilez, E. A., Mendoza, R. B., & Aguirre, C. J. (2016). *Efectos de los sistemas del cultivo-árboles-pastos sobre la erosión laminar y la calidad de suelo en la micro cuenca Tecomapa, municipio de Somotillo, Nicaragua* (Tesis de Maestría). Managua: Universidad Nacional Agraria de Nicaragua.
- Berroterán, J., & Zinck, J. (2000). Indicadores de la sostenibilidad agrícola nacional cerealera. Caso Estudio. Venezuela. *Revista Facultad Agronomía*, 17, 139-155. Recuperado de http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/marzo_abril2000/ra2001.pdf
- Brul, P., Deiters, T., & Van Elzakker, B. (1995). *Principios y práctica de la agricultura orgánica en el trópico*. San José de Costa Rica: Fundación Güilombé.
- Cairo, P. (2000). Alternativas para el mejoramiento de los suelos para el cultivo de la caña. *Agricultura Orgánica*, 14(2), 23-25.
- Cairo, P., & Fundora, O. (2005). *Edafología (Primera y Segunda Parte)*. La Habana: Félix Varela.
- Cairo, P., & Reyes, A. (2010). *Edafología Práctica*. Cuidad de la Habana: Félix Varela.
- CPP (2014). *Programa de Asociación del País Apoyo a la implementación del programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Cuba*. La Habana: Iré Production.
- Comerma, J., Torres, S., Lobo, D., Fernández, R. D., & Madero, L. (2005). Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la F.A.O. *Cuadernos de Agronomía*, 1. Turén, Venezuela.
- FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de tierras y aguas de la FAO*, V. 8., Roma: FAO.
- Farell, J., & Altieri, M.A. (1997). Sistemas agroforestales. En Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. La Habana Cuba: Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo.
- Febles, J. M. (2006). La erosión de los suelos. Factores que la provocan bajo las condiciones de las cuencas hidrográficas. La Habana: Pueblo y Educación.
- Hellin, J. (2004). De erosión de suelos a suelos de calidad. *LEISA: Revista de Agroecología*, 19(4), 6-8.
- Hernández, I., & Simón, L. (1994). Razones para emplear plantas leñosas en la ganadería vacuna. *Memorias del Taller Internacional de Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera*. 1-39. Estación Experimental Indio Hatuey. Matanzas.
- López, P., & Pérez, R. (1990). Manual de métodos y procedimientos de referencia. *Prácticas de Laboratorios*. Caracas: Venesuelo.
- Magdoff, F. (1997). *Calidad y Manejo de suelo. Bases Científicas para una Agricultura Sostenible*. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo. La Habana: Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica.
- Mendoza, R. B. (2014). *Guía para el uso de indicadores de calidad del suelo*. Managua: Universidad Nacional Agraria de Nicaragua.

- Mesa, A., Colom, C., Tremols, J., & Suárez, O. (1992). *Características edafológicas de Cuba*. La Habana: Científico-Técnica.
- Pagel, H., Enzmann, J., & Mutscher, H. (1992). *Pflanzennährstoffe in tripichenboden*. VEB Deutscher Land Wirst - chaftsverlag. Berlin, Alemania.
- Pérez, R., & Mury, M. (2004). *Plan de fertilización para rendimientos oportunos en el cultivo del café*. Recuperado de <http://www.disagro.com/cafe/cafe1.htm>
- Reyes, A. (2006). *Selección de indicadores de calidad del suelo en Topes de Collantes*. (Tesis de Doctorado). Santa Clara: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Rivera, R. (1992). *Metodología para calcular los requerimientos de nutrientes y dosis de fertilizantes para el cafeto*. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.