

Efecto del marabú (*Dichrostachys cinerea* (L.)) sobre la calidad de los suelos Pardo Sialítico degradados en Camagüey, Cuba.

Ismael Alvarez Cardoso¹, Lisbet Font Vila² & Leodannis Castillo Rodríguez³

RESUMEN

El marabú (*Dichrostachys cinerea* (L)) es considerada una especie exóticas invasoras en el caso de Cuba, la cual ha avanzado sobre las tierras abandonadas y productivas. Pero esta planta por sus características puede reportar beneficios al suelo y protegerlo de la erosión. Con el objetivo de demostrar el efecto que tiene el marabú sobre la calidad del suelo se realizó un experimento en la cuenca hidrográfica Río Máximo, perteneciente al Municipio Camagüey, Cuba, utilizando un suelo Pardo Sialítico mullido, en condiciones de campo para determinar la influencia de la permanencia por más de 20 años del marabú en las propiedades físico, químicas y biológicas del suelo. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 4 variantes de producción: infestado con Marabú más de 20 años, cultivo extensivo, cultivo intensivo y cultivo diversificado. Se tomaron 3 muestras compuestas de suelo por variante en mismo momento e iguales condiciones, con los datos obtenidos se estimó el índice de calidad del suelo mediante el software SENCA. Se demuestra la mejoría en las propiedades capacidad de intercambio catiónico, densidad real, densidad aparente, humedad higroscópica, contenido de materia orgánica y la actividad biológica del suelo, en los suelos cubiertos de marabú y los cultivos diversificados a diferencia de los sistemas convencionales de producción utilizados, que deterioran la calidad del suelo. El índice de calidad del suelo fue el más próximo a 1 en los suelos cubiertos con marabú demostrando la mejora de la calidad del suelo.

PALABRAS CLAVES: /Calidad del suelo, especies invasoras, Manejo Sostenible de Tierras, *Dichrostachys cinerea*

Effect of Sickle Bush (*Dichrostachys cinerea* (L.)) on the Quality of Degraded Sialitic Brown Soil in Camagüey, Cuba

ABSTRACT

Sickle bush (*Dichrostachys cinerea* (L)) is one of the exotic invading species found in Cuba,

¹Ing. Agrónomo, Departamento de Agronomía, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz: ismael.alvarez@reduc.edu.cu

² Dra. C Biológicas , Unidad de Medio Ambiente, Camagüey: lisbet@delnet.cu

³Estudiante de 5to año de Ingeniería Agronómica, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz: leodannis.castillo@reduc.edu.cu

spreading over idle and used lands. However, this plant may bring benefits to the soil, including protection from erosion. In order to prove the effects of sickle bush on soil quality, an experiment was performed in the Maximo river basin, in the municipality of Camagüey, Cuba, on mulled sialitic brown soil in field conditions, to determine the influence of sickle bush on the physical, chemical, and biological properties of the soil for over 20 years. A completely randomized design with 4 variants was used: +20 year-sickle bush infestation, extensive farming, intensive farming, and diversified farming. Three compound soil samples were collected per variant at the same time and with the same conditions. Improvements in cationic exchange capacity, real density, apparent density, hygroscopic humidity, organic matter content, and biological activity of the soil were observed in sickle bush-covered soils and diversified farming, in contrast to the conventional farming systems used, which deteriorate soil quality. The soil quality index was closer to 1 in sickle bush-covered soils, which demonstrated the improvements in soil quality.

KEYWORDS:/ Soil quality, alien species , Sustainable Land Management, exotic species, *Dichrostachys cinerea*

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente fundamental en los ecosistemas terrestres para la nutrición y soporte de las plantas (Vandermeer, 2011). Además, sostiene la mayoría de los organismos vivos por ser la fuente principal de nutrientes minerales. El buen manejo de los suelos asegura que los elementos minerales no se conviertan en deficientes o tóxicos para las plantas y que se introduzcan en la cadena alimentaria (FAO, 2017).

Su degradación es definida como la pérdida a largo plazo en la función y productividad de los ecosistemas, causada por alteraciones, a partir de las cuales el suelo no puede recuperarse sin ayuda (Oldeman y Ahakkeling, 1991). Las consecuencias de este fenómeno incluyen una disminución de la productividad agrícola, la migración, la inseguridad alimentaria, los daños a recursos y ecosistemas básicos, y la pérdida de biodiversidad debido a cambios en el hábitat tanto a nivel de las especies como a nivel genético (Oldeman y Hakkeling, 1991).

Además de los problemas de degradación del suelo causados por la explotación inadecuada de las tierras se suma el mal manejo de las especies de plantas y animales. La introducción de especies exóticas en ambientes frágiles ha ocasionado el desequilibrio ecológico en ecosistemas de todo el mundo. Cuba y en especial la provincia de Camagüey, se encuentra seriamente afectada con alrededor de 236 479.85 ha ociosas (Instituto de Suelos (UCTB), 2014) donde la principal causa ha sido la aparición de especies invasoras como lo son: el marabú (*Dichrostachys cinerea* (L)), aroma (*Acacia farnesiana* (L)), Weyler (*Mimosa pigra* (L)), caguazo (*Paspalum virgatum* (L)) y piña de ratón (*Bromelia pinguin* (L)) entre otras, siendo el marabú la de más difícil control. Este problema incide sobre otros como el cambio climático y la degradación de los suelos por lo que, si se acciona en busca de alternativas para incrementar la disponibilidad de áreas productivas y su sostenibilidad, se logrará un impacto importante en la seguridad y soberanía alimentaria.

La especie invasora *Dichrostachys cinerea* (L.) ha ocasionado daños a la economía en cuanto a la producción agropecuaria, su expansión en el territorio de Camagüey ha producido la disminución de las tierras aprovechables por la agricultura y la ganadería, además de los problemas del

desplazamiento de especies nativas. Estos problemas unidos a las prácticas de manejo inadecuadas en la recuperación de estos suelos han ocasionado daños que en ocasiones traen muchos más problemas que la propia expansión de esta especie.

El marabú (*D. cinerea*) pudiera hacerse más atractivo si sus componentes pudieran aplicarse útilmente, pero hay una falta seria de conocimiento en la actualidad en los usos potenciales, y en sus efectos en la calidad y fertilidad del suelo. Se plantea que los suelos cubiertos de marabú son significativamente de mayor calidad que los no cubiertos por marabú, por lo que se propone como objetivo: evaluar el efecto de la cobertura con marabú sobre la calidad de los suelos en áreas degradadas altamente vulnerables por el impacto de la actividad antropogénica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y descripción del área de estudio.

El trabajo se realizó en sitios de la agricultura suburbana de la provincia de Camagüey, tomando como referencia 3 fincas de productores agropecuarios (finca 1: La lucha, finca 2 Nueva esperanza y finca 3 Villa Luisa). Los sitios de estudios están localizados en la cuenca hidrográfica de la provincia de Camagüey: Cuenca Cuenca Río Máximo.

Descripción del sitio

En la cuenca hidrográfica Río Máximo, perteneciente al Municipio Camagüey, se seleccionaron áreas de la UBPC Victoria II, Empresa Cultivos Varios Camagüey ubicada en hojas cartográfica HC Altagracia 4680 III-b Coord. N-311.900 E: 404.600 con latitud Norte 21°27'46" y longitud Este 77°45'10" donde la media anual de precipitaciones es de 930 mm, temperatura media: 27,1°C y humedad relativa de 82% y están asentadas en un suelo Pardo Sialítico mullido (Hernández et al., 2015). Se manifiestan desde medianamente profundos (25-50 cm) a profundos (51-100 cm). La textura predominante en el horizonte superficial de estos suelos es arcilla, MO 2-4% evaluándose de medianamente humificados, están sustentados por rocas ígneas intermedias, y areniscas, sin carbonatos; presencia de graviliosidad y pedregosidad, sobre todo en los suelos de menor Profundidad Efectiva. Suelos saturados, predominio del Ca²⁺ y Mg²⁺ en la capacidad de intercambio catiónico.

Diseño experimental

Se seleccionaron muestras de suelo para determinar el efecto del marabú sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas. Se evaluaron cuatro variantes experimentales y tres repeticiones en cada una (Tabla 1).

Tabla 1: Variantes empleadas en la investigación.

Variantes	Tipo de Suelo	Sistema de Cultivo	Ubicación
1	Pardo Sialítico	Finca 2: Infestado con Marabú más de 20 años	UBPC Victoria II
2	mullido.	Finca 3: Sistema de cultivo extensivo. plátano, <i>Musa paradisiaca</i> (L)	Empresa Cultivos Varios Camagüey.
3		Finca 1: Sistema de cultivo intensivo tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> (L))	
4		Finca 2: Sistema de cultivo diversificado. Finca, sembrada con caña, kingrass, plátano, papayo y frijol.	

Muestreo y determinaciones realizadas

El muestreo de suelo se realizó usando el entramado de muestreos al azar de puntos de forma longitudinal (Hellkamp et al., 1995). Se tomaron 3 muestras de suelo por variante en mismo momento e iguales condiciones.

Las muestras se secaron al aire, para el caso de la utilizadas en las determinaciones microbiológicas, las mismas se pasaron por un tamiz con malla de 2 mm y se conservaron bajo techo a temperatura ambiente por un período de 60 días (Calero et al., 1999), con el objetivo de estabilizar gran parte de la microflora autóctona y lograr un estado de latencia hasta tanto no se le proporcione condiciones óptimas de temperatura y humedad para evaluar su expresión metabólica.

Los análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas se realizaron en la Unidad Científico Tecnológica de Base de Suelos Camagüey, perteneciente al Instituto de Suelos del Ministerio de la Agricultura para determinar la fertilidad y estado de la calidad del suelo; los indicadores utilizados se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de los métodos analíticos empleados para los indicadores químicos, físicos, y biológicos utilizados.

Indicadores	Descripción	REFERENCIA
Físicos		
Humedad higroscópica (Hy)	Método gravimétrico	MINAG, 1980
Densidad real (DR)	Método pignométrico en xilol	MINAG, 1987
Densidad aparente (DA)	Método de los anillos, (determinada a niveles de humedad en el suelo muy próximos a la capacidad de campo o límite superior del agua disponible).	MINAG, 1984
Químicos		
pH en Cloruro de potasio pH (KCl)	Método potenciométrico	NC ISO 10390, 1999
Conductividad eléctrica (CE)	Método relación 1:5 suelo-agua	NC 112, 2001
Capacidad de intercambio catiónico en suelos (CIC)	Método Melich modificado (Schachtschabel)	NC 65, 2000
Biológicos		
Materia orgánica en suelo (MO)	Método Walkley - Black colorimétrico	MINAG, 1999
Respiración Basal (RB)	Con humedecimiento de 25 g de suelo al 60% de la capacidad máxima de retención de humedad y la determinación del CO ₂ al cabo de 24 horas de incubación a 30°C.	Calero et al., 1999
Respiración inducida por carbono (RIC)	Aplicación de glucosa buscando de acuerdo al agrupamiento de suelo la concentración mínima para alcanzar la máxima respiración.	Font, 1999 Calero et al., 1999 Chaveli et al., 2002
Capacidad nitrificadora real (NR)	Método Fenoldisulfónico (colorimétrico)	Bolotina y Abramova, 1968

Los datos obtenidos del análisis físico, químico y biológico se emplearon en la estimación el índice de calidad del suelo para cada variantes, utilizando el software SENCA propuesto por Font, (2008) para la obtención de un rango de calidad entre cero y uno siendo el uno el estado ideal del suelo.

Análisis y procesamiento de datos

Se conformó una base de datos y se procesaron los mismos estadísticamente como un diseño experimental completamente aleatorizado mediante un análisis de varianza de las medias (ANOVA) de clasificación simple para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan con una confiabilidad del 95% para comparar las medias. Los datos se procesaron mediante el programa estadístico SPSS® para Windows versión 11.5.1 (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo

Los resultados de la caracterización química de los suelos Pardo Sialítico mullido se muestran en la Tabla 3. En las diferentes variantes el pH (KCl) del suelo se encuentra en un rango desde ligeramente alcalino a ligeramente ácido, excepto en el sistema intensivo, donde resulta ácido, pudiendo estar relacionado con la producción intensiva del tomate (*Solanum lycopersicum* (L.) a la cual está siendo sometida este suelo, resultados que coinciden con lo expresado por (García, 2011) que afirma que uno de los problemas que pudiera causar la acidificación de los suelos es precisamente el mal manejo en los cultivos intensivos.

Los mejores resultados en cuanto al pH se alcanzaron en las variables correspondientes a los cultivos extensivos del plátano y los infestados con marabú con más de 20 años. Se evidencia que los suelos con marabú mantienen las condiciones de pH óptimas y la más cercana al valor neutro aunque ligeramente ácidos, que es donde coincide un mejor estado del suelo, buena disponibilidad de los nutrientes y un excelente comportamiento de los cultivos (Andres et al, 2014). Similares resultados fueron obtenidos por García (2006) en suelos Pardos Sialíticos cubiertos de bosques en agroecosistemas de Santiago de Cuba. Lo que demuestra como el marabú en su condición de bosque y en el periodo de tiempo estudiado es capaz de mantener un pH óptimo para estos tipos de suelos.

Para el caso de la CIC el valor más alto reportado corresponde al suelo cubierto con marabú, el resto de las variables no presentan diferencias significativas entre ellas. En el caso del suelo infectado con marabú los valores pudiera atribuirse a la permanencia de esta especie sobre el suelo, incrementando representativamente este indicador de fertilidad en el suelo, demostrando el potencial mejorador de esta planta en estos suelos; este indicador pudiera estar estimulado por el aporte en gran cantidad de materia vegetal de esta planta resultados que se asemejan a los obtenidos por Bautista et al, (2005) en bosques el cual expresa que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta está relacionada principalmente con el alto contenido de materia orgánica en los horizontes superficiales. Sin embargo el porcentaje de saturación de bases no tuvo diferencias significativas en entre las variantes.

Tabla 3: Indicadores químicos de los dos tipos de suelo.

Variantes	pH (KCl)	CIC cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	V (%)	CE dS m ⁻¹	Ca ²⁺ /Mg ²⁺
Suelo Pardo Sialítico mullido					
Marabú más de 20 años	6,5 b	55,46 a	95,01	0,28	5,71 a
Sistema de cultivo extensivo.	6,45b	45,68 b	97,80	0,15	3,51 b
Sistema de cultivo intensivo	4,85 c	47,82 b	98,67	0,62	1,73 c
Sistema de cultivo diversificado.	7,66 a	46,31 b	95,35	0,16	5,82 a
ESx	0,170*	1,660*	1,471ns	0,260ns	0,233*

Nota: a, b, c ... Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan

En el caso de la CE el rango considerado aceptable por la USDA (1999) para el crecimiento de la mayoría de los cultivos es desde 0 hasta 0,8 dS m⁻¹, los valores de este indicador para las diferentes variantes se encuentran dentro de este rango y no se observan diferencias significativas.

Las relaciones intercatiónicas son importantes para la asimilación de nutrientes. En el caso de la relación Ca²⁺/Mg²⁺ la ideal para la generalidad de las especies se reportó alrededor de 6:1, por debajo de 2 pueden producirse problemas por exceso de magnesio y superiores a 10:1 existen deficiencias bien marcadas de este elemento (Stevens et al., 2005). Los resultados del análisis este indicador, demostraron que los valores, de forma general están en el rango óptimo, además se observan diferencias significativas, con una relación más estrecha, en los suelos con sistema de cultivo diversificado y cubierto de marabú, este último pudiera estar asociado al aporte de materia orgánica por su característica de bosque semidecuido, demostrando los beneficios con respecto a este indicador en los suelos con estos sistemas de manejo.

Por otro parte, el sistema de cultivo intensivo, demostró presentar una escasa relación, manifestando un desequilibrio potencial en estos nutrientes para estos suelos, pudiendo estar causado por el manejo inadecuado cultivo intensivo del tomate (García, 2011).

Características físicas

La caracterización de los indicadores físicos se encuentra en la tabla (Tabla 4). Teniendo como resultado que la DR varió en dependencia de la actividad agrícola a la que es sometido el suelo y su contenido de materia orgánica; en general se encontraron valores bajos en este suelo (Pardo

Sialítico mullido) por tener un contenido medio de materia orgánica (MO) y según Hernández et al., (2015) cuando hay pérdida de MO en los suelos la Dr se incrementa.

El mejor comportamiento con respecto a la DR correspondió a los suelos ocupados por marabú, al encontrarse los valores menores; pudiendo estar relacionado con la actividad de las raíces de esta planta y la incorporación de materia orgánica (Mudzengi, 2014).

De igual manera se comportó la DA que según MINAG, (1987) tiene un valor extraordinario para conocer el estado físico del suelo, ya que refleja el comportamiento dinámico de la estructura y la porosidad, debido a que varía por la acción de agentes externos e internos, como por ejemplo, la compactación y la dispersión de las partículas respectivamente. Para la cual las áreas con marabú mostraron los mejores resultados, los que corresponden a los valores óptimos sugeridos por Mesa y Naranjo (1982) para este tipo de suelo en bosques.

Estos resultados pueden estar relacionados a que la da varía por la acción de esta planta en periodos largos de permanencia; con respecto a este tema (Carmenate et al, 2008) demostró que las raíces de esta especie alcanzan una profundidad considerable, pudiendo ser la causa de las mejoras en algunas propiedades físicas del suelo como la da y la Hy, según George (2006), los materiales vegetales acumulados, como la hojarasca y la cobertura vegetal, pueden formar un tipo de colchón de MO, lo que se traduce en valores de da bajos en las capas superficiales del suelo, y el marabú es considerado por Mudzengi (2014) como una planta semi residuo por lo que aporta gran cantidad de hojarasca al suelo.

En el caso del indicador Hy, de acuerdo con MINAG (1984), los valores apropiados para la generalidad de las especies se encontraron entre 6-8% por lo que se establece un rango óptimo, siempre que no existan otras limitaciones que lo impidan. Para este rango resultan superiores los valores obtenidos en todas las variantes y pueden estar relacionados con el tipo de suelo Pardo Sialítico mullido, donde existen contenidos montmorillonítico elevados causantes de las altas concentraciones de agua fuertemente retenida a las partículas del suelo. Para este indicador los mejores resultados se obtuvieron en el suelo cubierto de marabú y con cultivo diversificado, pudiendo ser causada por el aporte de materia orgánica y las mejoras físicas que estas variantes desarrolla en el suelo, coincidiendo con Carmenate et al, (2008).

Tabla 4: Indicadores físicos de los dos tipos de suelos

Variantes	Dr	Da	Hy
	g.cm ⁻³	g.cm ³	%
Suelo Pardo Sialítico mullido.			
Marabú más de 20 años	2,12 c	0,96 b	11,67 ab
Sistema de cultivo extensivo.	2,37 b	1,21 a	11,37 b
Sistema de cultivo intensivo	2,51 a	1,27 a	10,50 c
Sistema de cultivo diversificado.	2,34 b	1,19 a	12,27 a

ESx	0,037*	0,053*	0,242*
-----	--------	--------	--------

Nota: a, b, c . Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan

Características biológicas

Los valores más altos de MO (Tabla. 5) fueron obtenidos en los suelos con cultivos diversificados lo cual se justifica por la constante incorporación de abonos orgánicos en estos sistemas de cultivo (Tremont y Cuevas, 2006).

Este indicador influye de forma positiva en casi todas las propiedades del suelo según Magdoff, (1997), lo cual fue confirmado en el comportamiento del resto de los indicadores estudiados en el trabajo, como la CIC y por otros autores como Resk (1998), sobre la estructura del suelo, agua y disponibilidad de nutrientes. Esta influye, además, en la da y dr existiendo una alta correlación negativa entre ambas (Apezteguía et al., 2001).

La RB es un índice de actividad potencial básica, considerada un indicador directo de la actividad microbiana e indirecta de los contenidos de MO del suelo (Alef y Nannipieri, 1995; Leita et al., 1995).

La variante con marabú y el cultivo diversificado presentaron los mayores valores de RB y NR, estos resultados están dados por que el marabú asentado en este lugar por más de 20 años constituye un bosque en el cual se restablecen e incrementan las propiedades microbiológicas del suelo; coincidiendo con Chavarría et al., (2012).

Tabla 5: Indicadores bilógicos de los dos tipos de suelos

Variantes	MO	RB	NR
	%	mg CO ₂ : 100 g ⁻¹	mg NO ₃ ⁻ :kg ⁻¹
Suelo Pardo Sialítico mullido			
Marabú más de 20 años.	4,59 b	65,12 a	20,48 b
Sistema de cultivo extensivo.	4,27 b	26,32 b	17,32 c
Sistema de cultivo intensivo.	4,55 b	14,59 c	13,75 d
Sistema de cultivo diversificado.	5,31 a	32,56 b	22,80 a
ESx	0,173*	2,378*	0,49*

Nota: . a, b, c ... Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan

Se corroboró lo planteado por Prochette y Desjardius (1991) sobre la correspondencia directa entre este indicador y la rápida descomposición de los residuos orgánicos en nutrientes disponibles para el cultivo, teniendo siempre en cuenta que el porcentaje de MO del suelo se

mantenga estable y no disminuya, porque sería perjudicial en otros procesos físicos y químicos tales como la agregación del suelo, el intercambio catiónico y la capacidad de retener el agua.

Los sistemas de cultivo intensivo y extensivo presentaron los valores más bajos en cuanto a los indicadores microbiológicos analizados (Tabla 5), lo cual puede deberse a las condiciones de explotación tan agresivas hacia el suelo que requiere estos sistemas de producción.

De esta forma, la actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de actividad biológica, involucrando el componente lábil de la MO y por otro, integra los factores del medio ambiente y su influencia en la misma (Zagal et al., 2002). Así también, es considerada de gran importancia en la calidad del suelo (Stevenson y Cole, 1999), planteándose que refleja con más sensibilidad los cambios ocurridos en la fertilidad del mismo que las determinaciones químicas de carbono y nitrógeno (Beyer, 1995; Franzluebbbers et al., 1995).

Calidad del suelo

Los resultados del índice de calidad oscilan entre cero y uno, a medida que el resultado se acerca más a uno, mayor será la calidad del suelo para cada una de las variantes según Font, (2008). Es importante destacar que los resultados obtenidos en la evaluación de ICS indican que las variantes con marabú tienen mayor índice de calidad (Tabla 6), lo que demuestra que la permanencia de la especie *Dichrostachys cinerea* (L.) cubriendo el suelo ha mejorado sus propiedades significativamente con respecto al resto de las variantes, y que a pesar de su naturaleza agresiva puede ser mejoradora del suelo, en tierras degradadas, debido a la entrada de cantidades significantes de carbono y nutrientes. En los sistemas de cultivo diversificado se observa menor deterioro de la calidad del suelo, inducido por el aporte de abonos orgánicos coincidiendo con los estudios realizados por Tremont y Cuevas (2006).

Se evidencia, además, que la calidad del suelo resultó ser inferior en los sistemas de producción intensiva y extensiva, siendo estas las variantes que pudieran presentar mayor degradación de la calidad del suelo debido a las condiciones de cultivo a las que son sometidos estos terrenos, resultados que concuerdan con lo expresado por (García, 2011) acerca de las afectaciones de las prácticas intensivas a la calidad del suelo.

Tabla 6: Evaluación de los índices de calidad del suelo bajo diferentes sistemas de cultivo comparado con el suelo cubierto de marabú

Variantes	ICS
Marabú más de 20 años.	0,6933 a
Sistema de cultivo extensivo.	0,6133 c
Sistema de cultivo intensivo.	0,5233 d
Sistema de cultivo diversificado.	0,6567 b
Esx	0,003*

Nota: a, b, c. Medias con letras iguales no difieren a $p \leq 0,05$ según la prueba de Rango Múltiple de Duncan

Los ICS obtenidos, mostraron que existen indicadores sensibles capaces de reflejar, los cambios ocasionados por las prácticas de manejo en este tipo de suelo en coincidencia con lo indicado por Bautista et al. (2004).

En general los resultados alcanzados indicaron que los valores del ICS fueron mayores en aquellos sistemas donde las propiedades físicas, químicas y biológicas estuvieron en un estado balanceado, lo cual coincidió con los suelos cubiertos con marabú por más de 20 años y aquellos donde el factor antropogénico influyó de forma positiva con prácticas de manejo agrícola conservadoras del suelo como los sistemas de cultivo diversificados.

Lo anterior permite sugerir que se tengan en cuenta este criterio de referencia, cuando el mismo se realiza con el objetivo de evaluar la habilidad de la calidad del suelo por sistema introducido para recuperarse del efecto antropogénico con respecto al suelo cubierto por marabú, lo que permitirá definir cuál sistema de cultivo degrada menos el suelo en estos ecosistemas afectados (Lal et al., 2003).

El ICS varió con respecto al cultivo establecido y el manejo agrícola empleado. El uso del monocultivo en sistemas de cultivos perennes o semiperennes fueron los que mayor deterioro provocaron en el suelo. Esto pudiera asociarse al empleo de prácticas agrícolas convencionales que no permiten al suelo su viabilidad a largo plazo debido a un desequilibrio en los procesos ecológicos que ayudan a mantener la sostenibilidad (Funes, 2006).

Es importante destacar la respuesta alcanzada en los sistemas de cultivos diversificados en los cuales el manejo agrícola empleado favoreció que algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo produjeran un aumento de los ICS en comparación con los convencionales. Este fenómeno pudo atribuirse a que un sistema agrícola diversificado tiene más posibilidades de mantener el equilibrio por las múltiples relaciones entre sus componentes bióticos y abióticos (Guazzelli et al., 2007).

CONCLUSIONES

Los indicadores físicos, químicos y biológicos empleados mostraron variaciones en su comportamiento, debido al sistema de cultivo utilizado; además el Índice de Calidad del Suelo varió como resultado de la relación entre los sistemas de cultivos, resultando mayor en los suelos cubiertos con marabú, lo que demuestra la mejora de la calidad del suelo en áreas degradadas, a diferencia de los sistemas convencionales de producción que deterioran su calidad.

REFERENCIAS

- Alef, K. y Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. (2da.ed.). San Diego: Academic Press.
- Apezteguía, H.P., Sereno, R. y Vettorello, C.I. (2001). *Materia orgánica del suelo y densidad aparente en suelos de Córdoba, Argentina*. Ponencia presentada en el XV Congreso Latinoamericano y V Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. SLCS y SCCS, Varadero, Matanzas, Cuba.
- Bautista, A., Gutierrez, M., Castillo, R., y Etchevers, J. (2005). Crono secuencia de un suelo y su clasificación en un área originalmente ocupada por bosque meso filo de montana. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, 30 (2), 143-253.
- Bautista, C., Etchevers, A., Del Castillo, R. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 2, 10-15. Recuperado de: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/8708>
- Beyer, L. (1995). Soil microbial biomass and organic matter composition in soils under cultivation. *Biol Fertil Soils*, 19, 197-202. Recuperado de : <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00336159>
- Bolotina, N. y Abramova, E. (1968). Método para determinar la capacidad nitrificadora del suelo.(en ruso) *Agrojimia*, 4, 136- 141.
- Calero, B., Guerrero, A., Alfonso, C., Somoza, V. y Camacho, E. (1999). Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el Hombre*, 21, 89-94.
- Carmenate, H., Pérez, E., Paredes, E., y Blanco, P. (2008). Biología reproductiva de *Dichrostachys cinerea* (L) (marabú). Evaluación de reproducción por porciones de tallos y raíces. *Fitosanidad*, 12 (2), (225-229). Recuperado de: <http://www.fitosanidad.cu/index.php/fitosanidad/article/view/146>
- Chavarría, N., Tapia, A., C. Soto, G., y Virginio, E., (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *Agrociencia*, 23, 85-105. Recuperado de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/interseeds/article/view/2991>
- Chaveli, P., Font, L., Gandarilla, J., Calero, B., y Mendoza, L. (2002). Estudio microbiológico de un Suelo Pardo sin Carbonato propenso a la erosión para un manejo agrícola sostenible. *Centro Agrícola*, 4, 66-70.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (1999). *NC ISO 10390. Determinación de pH*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (2000). *NC 65. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de cationes intercambiables del suelo*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Cuba, Oficina Nacional de Normalización. (2001). *NC 112. Determinación de la conductividad eléctrica y sales solubles totales en suelos afectados por salinidad Relación suelo- agua*. La Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- Font, L. (1999). *Uso de indicadores microbiológicos para evaluar el efecto a largo plazo de la fertilización mineral en un agroecosistema cítrico*. Tesis de Maestría publicada. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Font, L. (2008). *Estimación de la calidad del suelo: Criterios físicos, químicos y biológicos*. Tesis doctoral publicada. Universidad Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas INCA. La Habana, Cuba.

- Franzluebbers, K., Weaver, R., Juo, A. y Franzluebbers, A. (1995). Mineralization of carbon and nitrogen from coupe lever decomposing in soils with different levels of microbial biomass. *Biol. Fertil Soil*, 9, 100-102. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/BF00336143>
- Funes, F. (2006). ¿Sustitución de insumos o agricultura ecológica? *Revista de Agroecología*, 22 (2) ,9-10.
- García de Souza, Margarita, Alliaume, Florencia, Mancassola, Victoria, & Dogliotti, Santiago. (2011). Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 15(1), 70-81. Recuperado de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482011000100009&lng=es&tlng=es
- García, O., Gallardo, J., Montano, N., y Islas, P. (2006). Soil Carbon and Nitrogen dynamics followed by a forest-to-pasture conversion in western Mexico. *Agroforestry Systems*, 66, 93-100. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-2917-z>
- George, A. (2006). *Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba*, Tesis de maestría no publicada. Universidad de Turrialba, Turrialba, Costa Rica.
- Guazzelli, M.J., Mairrelles, L., Barreto R., Goncalves, A., Motter, C. y Rupp, L.C. (2007). Servicios del agroecosistema: Una experiencia en la Sierra Gaucha. *Revista de Agroecología*, 22 (4), 5-8.
- Hellkamp, A., Bay, J., Easterling, K., Hess, G., Quaid, B., Munster, M. et al. (1995). *Environmental monitoring and assessment program: Agricultural lands pilot field program report*. (1ra. ed.). Washington, DC: Protection Agency.
- Hernández, A., Perez, J., Bosch, D y Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba*. Cuba. Recuperado de : http://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf
- Lal, R., Biggelaar, C. y Wiebe, K. (2003). Measuring on-site effects soil erosion on productivity and environment quality. *Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis*, 2(1), 75-86.
- Leita, L., De Nobly, M., Muhubachova, G., Mondini, C., Mardual, L. y Zerbi, G. (1995). Bioavailability and effects of heavy metals in soil microbial biomass, survival during laboratory incubation. *Biol. Fertil Soils*, 1, 113-108.
- Magdoff, F. (1997). Calidad y manejo del suelo. *Agroecología*, 1 (1), 211-221.
- Mesa, A y Naranjo, M. (1982). *Manual de interpretación de los suelos*. (1ra. ed.). Ciudad de la Habana, Cuba: Editorial científica técnica.
- MINAG, Norma Ramal de la Agricultura. (1980). *NRAG- 371. Determinación de Humedad higroscópica en suelos*. Cuba: [s.n.].
- MINAG, Norma Ramal de la Agricultura. (1987). *NRAG-370. Determinación de peso específico de suelos*. Cuba: [s.n.].
- MINAG, Normas Cubanas. (1999). *NC-51. Determinación de materia orgánica en suelo*. Cuba: [s.n.].
- MINAG. (1984,enero). *Manual de Interpretación de los Índices Físico- Químicos y Morfológicos de los Suelos Cubanos*. Ciudad de La Habana: Autor.

- Mudzengi, C. P., Kativu, S., Dahwa, E., Poshiwa, X., y Murungweni, C. (2014). Effects of *Dichrostachys cinerea* (Fabaceae) on herbaceous species in a semi-arid rangeland in Zimbabwe. *Nature Conservation*, 7, 51–60. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.7.5264>
- Oldeman, L. R., Ahakkeling, R.T., y Sombroek W.G. (1991). *World map of the status of human induced soil degradation*, (3ra. ed.). Wageningen, Países Bajos y PNUMA: ISRIC.
- Portal de Suelos de la FAO. (2017). *Definiciones Clave FAO*. Roma, Italia. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Prochette, P. y Desjardius, R. (1991). Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields, *Soil Sci*, 71, 189-196. <https://doi.org/10.4141/cjss91-018>
- Resk, D.V.S. (1998). Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. *Soil quality and agricultural sustainability*, 2, 288-300.
- Stevens, G., Gladbach, T., Motavalli, P. y Du, D. (2005). Soil calcium: magnesium ratios and lime recommendations for cotton. *The Journal of Cotton Science*, 9, 65-71. Recuperado de: <http://www.leadership.cotton.org/journal/2005-09/2/upload/jcs09-065.pdf>
- Stevenson, F.J. y Cole, M.A. (1999). Cycles of soil. *John Wiley & Sons*, 10 (1), 427.
- Tremont , O. y Cuevas, E. (2006). Carbono orgánico, nutrientes y cambios estacionales de la biomasa microbiana en las principales especies de dos tipos de bosques tropicales. *Multiciencias*, 4, 1–14. Recuperado de: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/multiciencias/article/view/16596/16569>
- UCTB. (2014). *Mapa Balance de la Tierra*. Camagüey: Instituto de Suelos.
- USDA (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Recuperado de : https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf:
- Vandermeer, J. (2011). *The Ecology of Agroecosystems*. (2da.ed.). Massachusetts, USA: Jones and Barlett Publishers. Recuperado de: <http://hormigas.univalle.edu.co/pdf/Tropical%20Agroecosystems.pdf>
- Zagal, E., Rodríguez, N., Vidal, I. y Quezada, L. (2002). Actividad microbiana en un suelo de origen volcánico bajo distinto manejo agronómico. *Agricultura Técnica*, 62(2), 297-309. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000200012>