

Nota técnica

Índice de calidad del suelo en la Empresa Pecuaria El Tablón (Cienfuegos, Cuba)

Soil quality index in the Animal Husbandry Enterprise El Tablón (Cienfuegos, Cuba)

Lázaro Jesús Ojeda-Quintana¹, Yoandy Machado-Díaz¹, Yanorys Bernal-Carrazana¹, Martha E. Hernández-Vilches², Lisbet Font-Vila³, Consuelo Hernández-Rodríguez¹ y Enrique Casanovas-Cosío⁴

¹Unidad Científica de Base Cienfuegos, Instituto de Suelos Carretera Cumanayagua-Manicaragua, Barajagua, Cienfuegos, Cuba

²CUM Cumanayagua, Universidad de Cienfuegos, Cuba

³Universidad de Camagüey, Cuba

⁴ Universidad de Cienfuegos, Cuba

Correo electrónico: ljojeda@ucf.edu.cu

Resumen

En el año 2015, estudios de fertilidad del suelo en las principales empresas ganaderas de Cuba mostraron que en el 90,6 % de las áreas existía afectación por uno o más factores limitantes; y en la provincia de Cienfuegos, el 25 % de la superficie agrícola de la Empresa Pecuaria El Tablón no estuvo exenta de dichas deficiencias. En este estudio se determinó el índice de calidad de un suelo Pardo Grisáceo en áreas de pastos naturales de esa entidad, a partir de la validación del software Sistema Cuantitativo de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Suelo (SEMCAS), que analiza de forma integrada indicadores físicos, químicos y biológicos. Las mediciones se realizaron de acuerdo con un diseño de bloques al azar, en dos vaquerías y en parcelas de 4 x 4 m². Las muestras se tomaron en el período lluvioso y el poco lluvioso. Se procesaron los datos estadísticamente, mediante un análisis de varianza de clasificación simple. Los indicadores físicos mostraron una densidad aparente alta y la humedad higroscópica por debajo del rango óptimo establecido. Se halló un pH ácido; mientras que el fósforo asimilable, la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases fueron bajos. Los valores del índice de calidad del suelo difirieron estadísticamente entre los sitios de muestreo, aunque de manera discreta, y en general estuvieron entre 0,29 y 0,32. Se recomienda ampliar la frecuencia de muestreo e incluir nuevos indicadores en la evaluación.

Palabras clave: carbono, fertilidad del suelo, propiedades físico-químicas suelo.

Abstract

In 2015, soil fertility studies in the main animal husbandry enterprises of Cuba showed that 90,6 % of the areas were affected by one or more limiting factors; and in Cienfuegos province, 25 % of the agricultural surface of the Animal Husbandry Enterprise El Tablón was not free from such deficiencies. In this study the quality index of a Grayish Brown soil was determined in areas of natural pastures of that entity, from the validation of the software *Sistema Cuantitativo de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Suelo* (Quantitative System of Soil Quality Evaluation and Monitoring, SEMCAS), which integrally analyzes physical, chemical and biological indicators. The measurements were made according to a randomized block design, in two dairy farms and in 4 x 4 m² plots. The samples were taken in the rainy and dry seasons. The data were statistically processed, through a simple classification variance analysis. The physical indicators showed high apparent density and hygroscopic moisture below the established optimum range. Acid pH was found; while assimilable phosphorus, cation exchange capacity and base saturation percentage were low. The values of the soil quality index differed statistically between the sampling sites, although discreetly, and in general they were between 0,29 and 0,32. To widen the sampling frequency and to include new indicators in the evaluation are recommended.

Keywords: carbon, soil fertility, physical-chemical properties soil.

Introducción

Las actuales previsiones indican que en el año 2050 la humanidad se enfrentará, desde la doble vertiente: agrícola y pecuaria, a una serie de retos importantes y trascendentes, y la población mundial puede alcanzar alrededor de los 9 000 millo-

nes de personas. Pero esta no es solo una cifra de referencia, que, por sí misma, conlleva reflexionar a profundidad, sino que también complejiza la situación alimentaria a nivel global, donde el primer reto se fundamenta en una realidad multifactorial en la que estarán involucrados: el agua; la atención a los

efectos del calentamiento global; la propia producción agrícola y animal; la adecuada gestión de los subproductos agrícolas, ganaderos y humanos; y el uso sostenible del recurso suelo, entre otros factores (Buxadé, 2015).

Durante el año 2015, el Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) realizó estudios agroquímicos en las principales empresas ganaderas del país (Lok, 2015). Este análisis demostró que el 90,6 % de las áreas evaluadas estaba afectado por uno o más factores limitantes, de ellos un 45 % por baja fertilidad natural. En la provincia de Cienfuegos el 25 % del área agrícola de la Empresa Pecuaria El Tablón (2 200 ha) no está exenta de las deficiencias anteriores, lo que presupone acciones científico-técnicas para mitigar sus efectos.

El software Sistema Cuantitativo de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Suelo (SEMCAS) permite evaluar temporal y espacialmente la calidad del suelo como parte del ambiente, implementar acciones anticipadas que impidan el avance de su degradación, así como medir el impacto de la aplicación de medidas de conservación y mejoramiento con un enfoque integrado y sostenible (Font, 2008). En tal sentido, el uso de indicadores de calidad en los sistemas ganaderos demostró la importancia y el interés que se le confiere al análisis de la calidad de los suelos dedicados a los pastos y forrajes en Cuba (Lok, 2015).

Este estudio tuvo como objetivo determinar el índice de calidad de un suelo Pardo Grisáceo dedicado al cultivo de pastos y forrajes en áreas de la Empresa Pecuaria El Tablón, con el uso del SEMCAS.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio. La investigación se realizó en dos vaquerías de la Empresa Pecuaria El Tablón: vaquería laboratorio 3, Barajagua; y vaquería 11, granja genética El Abra, ubicadas en las coordenadas N: 591-260 y E: 259-250 en la hoja cartográfica Barajagua 1:25 000, municipio de Cumanayagua, provincia de Cienfuegos, Cuba.

Características generales del suelo. El suelo del área se clasifica como Pardo Grisáceo (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015), con topografía llana y pendiente de 0,5 a 1,0 m. Las muestras se tomaron el 30 de octubre de 2015 (período lluvioso) y el 25 de abril de 2016 (período poco lluvioso).

Descripción de la investigación. Se empleó un diseño de bloques al azar con cuatro tratamientos y cinco réplicas; los tratamientos evaluados fueron:

1. Vaquería laboratorio 3, período poco lluvioso (vaquería L-3, PPLL).
2. Vaquería laboratorio 3, período lluvioso (vaquería L-3, PLL).
3. Vaquería 11, período poco lluvioso (vaquería 11, PPLL).
4. Vaquería 11, período lluvioso (vaquería 11, PLL).

El muestreo del suelo se realizó en cinco parcelas de 4 x 4 m², por el método del entramado al azar, en forma de zigzag; y se tomaron 10 muestras compuestas por parcela, a una profundidad entre 0 y 20 cm (IGAC, 2006)

Mediciones. De los indicadores físicos se seleccionaron la densidad real y la densidad aparente (Dr y Da); la primera se realizó por el método pignométrico en xilol, la segunda por el método de los anillos (NRAG 370, 1980), y la humedad higroscópica (Hy) por gravimetría (NC 110, 2001).

Los indicadores químicos incluyeron el pH en cloruro de potasio, por el método potenciométrico (NC ISO-10390, 1999); la conductividad eléctrica (NC ISO-112, 2001) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), por el método Melich modificado (Schachtschabel), de acuerdo con la NC ISO-65 (2000).

Los análisis biológicos incluyeron la materia orgánica, por el método Walkley-Black colorimétrico (NC ISO-51, 1999); y la respiración basal (RB), según Calero *et al.* (1999). Se realizaron observaciones visuales de la macrofauna y la mesofauna en el momento de los muestreos, para cuantificar e identificar los ejemplares.

Para determinar la reserva de carbono del suelo (RC) a una profundidad de 0 a 20 cm, se calculó el carbono orgánico, a partir de la ecuación de Kass: % CO = % MO/1,724 (Bojórquez-Serrano *et al.*, 2015); posteriormente se cuantificó la RC, por la fórmula:

$$RC \text{ (mg/ha}^{-1}\text{)} = \% \text{ COS} \times DA \times Ps \text{ (Hernández-Jiménez et al., 2013),}$$

donde:

RC: reserva de carbono orgánico en el suelo (mg/ha⁻¹).

% COS: porcentaje de carbono orgánico en el suelo

DA: densidad aparente (g/cm³).

Ps: profundidad del suelo (cm).

El índice de calidad del suelo (ICS) se estimó según la metodología SEMCAS, a partir de un *software* creado para tal fin, cuyo tenor varía en un rango de cero a uno (0-1); los valores que más se acerquen a 1 tendrán mejor calidad, mientras que los más cercanos a cero irán en detrimento (Font, 2008).

Análisis estadístico. Los resultados se procesaron estadísticamente mediante un ANOVA de clasificación simple, y se empleó la prueba de rango múltiple de Duncan (1955) para la comparación de las medias, con una confiabilidad del 95 %, utilizando como herramienta el programa estadístico SPSS (versión 15.0).

Resultados y Discusión

La densidad real (D_r) no mostró diferencias entre las dos vaquerías (tabla 1), con un valor promedio de $2,61 \text{ g/cm}^3$. Este indicador puede variar con la proporción de los elementos que constituyen el suelo. En general, si el contenido de materia orgánica es bajo, la densidad aparente se encuentra alrededor de $2,65 \text{ g/cm}^3$ (De Boodt *et al.*, 1967).

El criterio anterior coincide con los resultados de esta investigación, en la que se obtuvieron valores de D_r entre 2,56 y 2,64, sin diferencias estadísticas, en presencia de un contenido promedio de materia orgánica (2,14 y 2,15 % para la vaquería laboratorio 3 y la vaquería 11, respectivamente). Martín y Durán (2011), en una escala para diferentes tipos de suelos tropicales, ubicaron valores de densidad real entre 2,40 y 2,60 como medianos, y menores de 2,40 como bajos, por lo que los alcanzados en el presente estudio se incluyen en el primer rango.

La densidad aparente alcanzó valores similares en ambas vaquerías, sin diferencias entre los períodos. Estos resultados se corresponden con los de un suelo compactado (valores mayores que 1,60), señalados por Martín y Durán (2011).

Romero-Barrios *et al.* (2015), en estudios de calidad realizados en suelos forestales y ganaderos del Parque Nacional La Malinche –estado de Tlaxcala, México–, con un pH ácido y clase textural franco arenosa, obtuvieron una densidad aparente de $1,5 \text{ g/cm}^3$; lo cual indicó compactación, debido al empleo de prácticas no adecuadas de manejo del

suelo y al pastoreo, los incendios y la tala clandestina, factores que provocaron el incremento de la D_a .

Por su parte, Muscolo *et al.* (2014) plantearon que cuando la D_a aumenta, la compactación del suelo es mayor y puede afectar la retención de humedad y limitar el crecimiento de las raíces, ya que la D_a se modifica por las partículas sólidas y el espacio poroso, el cual a la vez es condicionante de la materia orgánica, por lo que la D_a y la MO son inversamente proporcionales. En suelos de textura fina la D_a varía entre 1,0 y $1,2 \text{ g/cm}^3$, mientras que en suelos arenosos es mayor: entre 1,02 y $1,62 \text{ g/cm}^3$. En el presente estudio los resultados superaron este rango.

La H_y no mostró diferencias entre las vaquerías, con los mayores valores en el período lluvioso (tabla 1). Resultó significativo que no variara entre 6 y 8 %, rango recomendado por MINAG (1984) para un desarrollo adecuado de las especies tropicales cultivables, sino que estuvo muy por debajo; de ello se infiere que un contenido de H_y inferior al 6 % retiene menos el agua, característica típica de los suelos Pardo Grisáceos.

Menghini *et al.* (2015), en suelos con alto contenido de arena y poco profundos del suroeste de la provincia argentina de Buenos Aires, donde además hubo un nivel de precipitaciones variables y enmarcadas en períodos estacionales, encontraron limitantes para mantener una humedad adecuada. Ello coincide con los resultados de este estudio, ya que la humedad higroscópica no se ubicó en el rango establecido, también en un suelo de tipo arenoso.

En la tabla 2 se muestran los valores del pH y la CIC. Se apreció que entre los diferentes sitios no hubo diferencias en el pH y que el valor medio fue de 4,7. De acuerdo con lo informado por Martín y Durán (2011), estos se catalogan como suelos ácidos. Dichos autores refieren, además, que en suelos con este pH es muy frecuente la fijación del fósforo; un bajo contenido de materia orgánica; deficiencias

Tabla 1. Indicadores físicos.

Sitio de muestreo	D_r (g/cm^3)	D_a (g/cm^3)	H_y (%)
Vaquería laboratorio 3, PPLL	2,64	1,72	2,95 ^b
Vaquería laboratorio 3, PLL	2,60	1,81	3,33 ^a
Vaquería 11, PPLL	2,62	1,70	2,99 ^b
Vaquería 11, PLL	2,56	1,81	3,27 ^a
ES \pm	0,178	0,141	0,189*

a, b: letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955).

Tabla 2. Valores de pH y capacidad de intercambio catiónico.

Sitio de muestreo	pH	CIC (cmol kg ⁻¹)
Vaquería laboratorio 3, PPLL	4,81	10,54 ^a
Vaquería laboratorio 3, PLL	4,92	10,11 ^{ab}
Vaquería 11, PPLL	4,64	9,96 ^{ab}
Vaquería 11, PLL	4,53	9,28 ^b
ES ±	0,016	0,493*

a, b: letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955).

por empobrecimiento de magnesio, calcio y potasio; restricciones para cultivos específicos; y una proporcionalidad entre el pH y la CIC.

En cuanto a la CIC, los resultados de este estudio coinciden con lo informado por MINAG (1984) y por Martín y Durán (2011), que consideraron como muy bajos los valores de CIC menores a 10 cmol kg⁻¹; y como bajos, aquellos entre 10 y 19 cmol kg⁻¹. Así, la CIC resultó de muy baja a baja.

Pulido-Fernández (2014) consideró la CIC como un indicador puntual para la estimación de la calidad del suelo, dada la interacción que ocasiona con el resto de los factores químicos, físicos y biológicos de este.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la conductividad eléctrica (CE), la saturación de bases (V) y la relación calcio/magnesio (Ca²⁺/Mg²⁺). La CE de las áreas en estudio osciló entre 0,40 y 0,71 dS m⁻¹ y resultó mayor en la vaquería laboratorio 3, tanto en el período poco lluvioso como en el lluvioso, con diferencia de la vaquería 11 en iguales condiciones.

El porcentaje de V en los suelos cubanos varía en un rango de 70-90 %, de acuerdo con MINAG (1984). Si es superior al 90 % puede resultar inadecuado para plantas sensibles a niveles elevados de carbonatos, y si es inferior al 50 % se corresponde con suelos ácidos, tal como se aprecia en la tabla 3

(45,10 y 46,32 %, respectivamente). Este autor señala, además, que el valor V se encuentra estrechamente relacionado con el pH y la CIC, debido a que son directamente proporcionales. Por su parte, los porcentajes de V no mostraron diferencias entre las dos vaquerías.

Martín y Durán (2011), en su escala de evaluación para suelos cubanos, refirieron que con porcentajes de saturación de bases mayores que 75 % se alcanza el nivel de saturación, y entre 40 y 75 % los suelos se encuentran medianamente desaturados (como ocurrió en ambas vaquerías). Estos resultados, evidentemente pueden influir en la respuesta que pudiesen tener los pastos en el tiempo, ya que la interacción del valor V con otros indicadores sucede de forma espontánea y, generalmente, no obedece a factores antropogénicos que puedan perturbar el ecosistema.

La relación óptima Ca²⁺/Mg²⁺ se encuentra alrededor de 6:1; por debajo de 2:1 es baja y suelen producirse problemas por exceso de Mg²⁺, superior a 10:1 resulta alta e indica deficiencias bien marcadas de este elemento (Muñiz, 2004). Se apreció que esta relación difirió estadísticamente entre las dos vaquerías (tabla 3) y resultó mayor en la vaquería 3. Los valores, en todos los casos, estuvieron por debajo de 6:1, aunque no fueron inferiores a 2:1.

El comportamiento de la materia orgánica, la reserva de carbono y la respiración basal se muestran en la tabla 4. El contenido de materia orgánica no mostró diferencias entre los distintos sitios. Martín y Durán (2011), en su escala de gradación de la materia orgánica para suelos cubanos, plantearon que el rango de 1,5-3,0 % es bajo, mientras que Crespo *et al.* (2009) lo enmarcaron entre 1,3 y 3,0 %. Ambos criterios coinciden con los resultados de este estudio, en que el valor medio fue de 2,13 % (bajo).

Font (2008), al aplicar la metodología SEM-CAS, reconoció como fundamental, dentro de sus indicadores, a la MO; ya que está considerada uno

Tabla 3. Saturación de bases, relación calcio-magnesio y conductividad eléctrica.

Sitio de muestreo	V (%)	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	CE (dS/m)
Vaquería laboratorio 3, PPLL	45,75	3,72 ^a	0,71 ^a
Vaquería laboratorio 3, PLL	46,32	3,72 ^a	0,72 ^a
Vaquería 11, PPLL	45,10	2,65 ^b	0,40 ^b
Vaquería 11, PLL	46,05	2,57 ^b	0,41 ^b
ES ±	1,134	0,166*	0,105*

a, b: letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955).

de los componentes más importantes para definir la calidad e influye en el comportamiento de otras propiedades. No debe soslayarse lo planteado por Fernández *et al.* (2016), referente a que el tipo de uso del suelo influye significativamente en los contenidos de MO y sus fracciones, al modificar sus propiedades físicas. Se debe destacar que una disminución de la MO en el suelo trae consigo un incremento de la Da, como ocurrió en este estudio.

La materia orgánica es más específica en sus relaciones con la CIC, la Dr y la Da; y puede alcanzar una correlación proporcional, según Menghini *et al.* (2014). El contenido de MO es esencial para interpretar los resultados de la calidad del suelo. Estos autores encontraron, en suelos ácidos cultivados con pastos, que al intercalar leguminosas arbóreas se producía un incremento estacional de la materia orgánica, pero sin influir en la CIC.

Si bien los indicadores físicos, químicos y biológicos no determinan por separado la calidad del suelo, la mayoría de los estudios coinciden en que la MO es el principal indicador, e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Duval *et al.*, 2013).

En cuanto a la respiración basal y las reservas de carbono, no se encontraron diferencias entre las dos vaquerías (tabla 4). Como resultado de la aplicación de la metodología SEMCAS en diferentes tipos de suelos de Camagüey, Font (2008) consideró 18,37 mmol CO₂ kg⁻¹ como valor estándar. Los resultados del presente estudio fueron inferiores en todos los sitios muestreados, lo que pudiese indicar una actividad biológica menor.

La respiración del suelo en los ecosistemas resulta muy variable, tanto espacial como temporalmente, y está determinada por la humedad, la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, el contenido de nutrientes y otros indicadores, según señala Riestra (2012), quien encontró variaciones al

medir este indicador en diferentes suelos y etapas fenológicas de distintos cultivos tropicales.

Ambrosino (2015), al evaluar la descomposición y la dinámica de los nutrientes en un suelo ligeramente ácido de pastizales naturales en el suroeste bonaerense argentino, refirió que el contenido de humedad de este se incrementaba al reducirse la cobertura del follaje; mientras que la respiración basal aumentaba de acuerdo a la temperatura, al activarse la biota existente. Este comportamiento resulta característico de climas templados.

Por su parte, Andrade *et al.* (2014) y Andrade (2016) hallaron, en los páramos en Colombia, un mayor contenido de carbono orgánico del suelo en pastizales que en áreas de bosques, lo cual atribuyeron a la dinámica de las raíces finas de los pastos; las que, por efecto de su senescencia o por defoliación a causa del pastoreo, hacen que grandes cantidades de carbono se incorporen al suelo. En subsiguientes investigaciones Cabrera-Dávila (2012) consideró que, desde el punto de vista biológico, para evaluar el estado de conservación-perturbación del suelo y del ecosistema se puede tomar en cuenta la macrofauna edáfica, la cual agrupa los invertebrados mayores de 2 mm de diámetro (Annelida: Oligochaeta), las termitas (Insecta: Isoptera) y las hormigas (Insecta: Hymenoptera: Formicidae), que actúan como ingenieros del ecosistema en la formación de poros, la infiltración de agua, y la humificación y mineralización de la materia orgánica.

Lo expresado anteriormente pudo constatare en observaciones visuales realizadas durante los muestreos, ya que se hallaron ejemplares de la macrofauna, tales como coleópteros, hormigas y lombrices de tierra, pero en todos los casos muy escasos (menos de 10 individuos).

El monitoreo de las propiedades físicas, químicas y biológicas es esencial para tomar medidas apropiadas y oportunas en función del manejo, e integra relaciones y funciones entre los diversos in-

Tabla 4. Materia orgánica, reserva de carbono y respiración basal.

Sitio de muestreo	MO %	RC mg/ha ⁻¹	RB mmol CO ₂ kg ⁻¹
Vaquería laboratorio 3, PPLL	2,17	43,34	16,49
Vaquería laboratorio 3, PLL	2,12	44,52	16,08
Vaquería 11, PPLL	2,14	42,16	16,34
Vaquería 11, PLL	2,16	45,25	16,65
ES ±	0,236	1,364	0,561

dicadores que se miden y que son importantes para la sostenibilidad de los agroecosistemas (Moreno *et al.*, 2015).

A partir del análisis de los indicadores evaluados, una vez aplicada la metodología SEMCAS, se alcanzaron valores del ICS entre 0,29 y 0,32 en la escala de 0-1, los cuales difirieron estadísticamente entre los sitios evaluados (fig. 1). El ICS fue mayor en la vaquería laboratorio 3, aunque con discretas diferencias.

Leyva-Rodríguez (2013) efectuó una estimación de indicadores de calidad para diseñar e implementar tecnologías de manejo en Luvisoles, en el municipio La Veguita (zona norte de la provincia de Las Tunas, Cuba), en cinco sistemas de uso del suelo (arboleda, pasto natural, pasto cultivado y dos sistemas silvopastoriles); para ello, seleccionó un conjunto mínimo de indicadores físicos, químicos y biológicos y los integró en un índice de calidad. En su interpretación utilizó la escala de transformación en cinco clases de calidad del suelo de Cantú *et al.* (2009). La metodología SEMCAS no contempla un rango de clases, por lo que, de acuerdo a Cantú *et al.* (2009), el ICS alcanzado se corresponde con una cuarta clase.

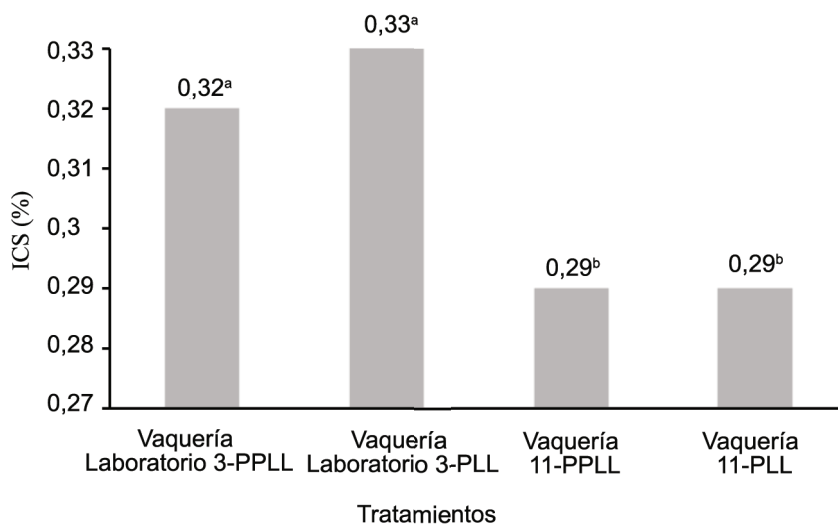
La fertilidad y la calidad de los suelos pueden resultar diferentes de un lugar a otro dentro de una misma área, según Rosa (2013). Estos cambios suceden incluso en distancias muy cortas y originan una extraordinaria variabilidad espacial, por lo que los suelos en el paisaje representan un enorme

mosaico de infinitas teselas. Este criterio puede fundamentar la diferencia estadística encontrada en el ICS entre las dos vaquerías, aun en condiciones similares de manejo.

Al implementar la metodología SEMCAS en diferentes tipos de suelo de la provincia de Camagüey –Cuba–, Font (2008) encontró puntos de acercamiento y diferencias en los valores de ICS, lo que se corresponde con la tendencia de fluctuación del ICS que señalan otras metodologías a nivel internacional.

Ramírez (2013) realizó por primera vez en Cuba, en áreas de producción intensiva de gramíneas cespitosas, en un suelo Ferralítico Rojo lixiviado con pH entre 5,6 y 6,4 de la provincia de Matanzas –Cuba–, un estudio independiente de indicadores de calidad del suelo (físicos, químicos y biológicos), y pudo correlacionar las variables biológicas con las físicas y las químicas. Se demostró que los suelos se encontraban degradados, fundamentalmente, en sus indicadores físicos (compactación, resistencia a la penetración y poca porosidad).

Se concluye que la validación de la metodología SEMCAS permitió determinar la calidad del suelo Pardo Grisáceo en áreas de pasto natural, con índices entre 0,29 y 0,32 en la escala de 0-1, lo que indica un nivel de calidad bajo. Hubo una marcada correspondencia entre el análisis individual de algunos indicadores y el ICS, así como se apreció que estimar la calidad del suelo resulta indispensable para diagnosticar la situación concreta de las áreas



ES \pm 0,124*. Letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$ (Duncan, 1955).

Figura 1. Índice de calidad del suelo.

de producción y trazar estrategias para su sostenibilidad; de igual forma, no se descarta la necesidad de incluir nuevos indicadores y establecer programas de monitoreo en el tiempo.

Referencias bibliográficas

- Ambrosino, Mariela L. Descomposición y dinámica de nutrientes en el suelo debajo de especies de diferente preferencia animal en pastizales naturales del sudoeste bonaerense. *Boletín Electrónico CERZOS*. 14 (27):40-47, 2015.
- Andrade, H. J.; Espinoza, Edna L. & Moreno, H. A. Impact of grazing on soil organic storage carbon in high lands of Anaime, Tolima, Colombia. *Zootecnia Trop*. 32 (1):7-21, 2014.
- Andrade, H. J.; Segura, Milena & Sebastián, A. Carbono orgánico del suelo en bosques riparios, arrozales y pasturas en Piedras, Tolima, Colombia. *Agron. Mesoam*. 27 (2):233-241, 2016.
- Bojórquez-Serrano, J. I.; Castillo-Pacheco, Lucía A.; Hernández-Jiménez, A.; García-Paredes, J. D. & Madueño-Molina, A. Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas. *Cultivos Tropicales*. 36 (4):63-69, 2015.
- Buxadé, C. El mundo y la ganadería. Situación actual y perspectivas al 2050. *54 Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. Palma de Mallorca, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. p. 17, 2015.
- Cabrera, Grisela. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 35 (4):349-364, 2012.
- Calero, B.; Guerrero, Anaely; Alfonso, C. A.; Somoza, V. & Camacho, E. Efecto residual de la fertilización mineral sobre el estado microbiológico del suelo. *La Ciencia y el Hombre*. XI:89-94, 1999.
- Cantú, M. P.; Becker, A. R.; Bedano, J. C.; Schiavo, H. F. & Parra, B. J. Evaluación del impacto del cambio de uso y manejo de la tierra mediante indicadores de calidad de suelo, Córdoba, Argentina. *Cad. Lab. Xeol. Laxe*. 34:203-214, 2009.
- Crespo, G.; Rodríguez, I. & Lok, Sandra. *Los suelos y su relación con la nutrición mineral de los pastos y la salud animal*. Curso Los minerales en la producción agropecuaria. Maestría de Producción animal para la zona tropical. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2009.
- De Boodt, M.; De Leenheer, L. & Frese, H. *West-European methods for soil structure determination*. Ghent, Belgium: State Faculty of Agricultural Sciences, 1967.
- Duncan, D. B. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*. 11 (1):1-42, 1955.
- Duval, M. E.; Galantini, J. A.; Iglesias, J. O.; Canelo, Silvia; Martínez, J. M.; Walle, L. *et al.* Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil Till. Res*. 131:11-19, 2013.
- Fernández, Romina; Quiroga, A.; Álvarez, C.; Lobartini, C. & Noellemeyer, E. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en Molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*. 34 (2):279-292, 2016.
- Font, Lisbeth. *Estimación de la calidad del suelo: Criterios físicos, químicos y biológicos*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008.
- Hernández-Jiménez, A.; Morales-Díaz, Marisol; Cabrera-Rodríguez, A.; Ascanio-García, M. O.; Borges-Benítez, Yenía; Vargas-Blandino, Dania *et al.* Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 34 (3):45-51, 2013.
- Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.
- IGAC. *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2006.
- Leyva-Rodríguez, Santa L. *Valoración de indicadores de calidad para el diseño e implementación de tecnologías de manejo en Luvisoles de la zona norte de la provincia de Las Tunas, Cuba*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Madrid: ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- Lok, Sandra. Los suelos dedicados en la ganadería en Cuba: características, manejo, oportunidades y reto. *Memorias del V Congreso Producción Animal Tropical*. San José de las Lajas, Cuba: Instituto de Ciencia Animal, 2015.
- Martin, N. J. & Durán, J. L. *El suelo y su fertilidad*. La Habana: Editorial Félix Varela, 2011.
- Menghini, M.; Arelovich, H. M.; Martínez, Marcela F. & Bravo, R. D. Herramientas productivas en sistemas ganaderos pastoriles con eje sustentable. *Boletín Electrónico CERZOS*. 14 (28):23-29, 2015.
- Menghini, M.; Rondini, E.; Arelovich, M. H.; Martínez, M. F.; Bravo, R. D. & Chamadoira, M. Intersiembrado de *Vicia villosa* sobre pasturas de *Thinopyrum ponticum*. Valor nutricional y rendimiento forrajero. 37 Congreso Argentino de

- Producción Animal, 2nd Joint Meeting ASAS-AAPA XXXIX Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 34 (1):131, 2014.
- MINAG. *Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos*. Ciudad Habana: Editorial Científico Técnica, 1984.
- Moreno, Carla; González, María I. & Egido, J. A. Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Ecuador es Calidad*. 2 (1):33-40, 2015.
- Muñiz, O. *Fertilidad del suelo. Curso de postgrado*. La Habana: Instituto de Suelos, 2004.
- Muscolo, Adele; Panuccio, María R.; Mallamaci, C. & Sidari, María. Biological indicators to assess short-term soil quality changes in forest ecosystems. *Ecol. Indic.* 45:416-423, 2014.
- NC 110. *Calidad del suelo. Determinación de la humedad del suelo*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2001.
- NC ISO-51. *Determinación de materia orgánica en suelo*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- NC ISO-65. *Capacidad de intercambio catiónico*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2000.
- NC ISO-112. *Conductividad eléctrica*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2001.
- NC ISO-10390. *Calidad del suelo. Determinación de pH*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 1999.
- NRAG 370. *Suelos. Densidad aparente o peso volumétrico*. La Habana: Ministerio de la Agricultura, 1980.
- Pulido-Fernández, M. *Indicadores de calidad del suelo en áreas de pastoreo*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Agronomía. Extremadura, España: Universidad de Extremadura, 2014.
- Ramírez, Wendy. *Estudio de indicadores de la calidad del suelo en áreas destinadas a la producción intensiva de especies de gramíneas cespitosas*. Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Pastos y Forrajes. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2013.
- Riestra, D. R. *Efecto de la forestación sobre el carbono orgánico y propiedades físicas de Molisoles y Entisoles en la región semiárida pampeana*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Agronomía. Bahía Blanca, Argentina: Universidad del Sur, 2012.
- Romero-Barrios, Claudia; García-Gallegos, Elizabeth & Hernández-Acosta, Elizabeth. Materia orgánica y densidad aparente en suelos del suroeste de La Malinche, Tlaxcala, México. *REIBCI*. 2 (5):63-70, 2015.
- Rosa, D. de la. *Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico y la experiencia práctica a los sistemas de ayuda a la decisión*. Discurso pronunciado en el acto de su recepción como Académico Numerario a la Real Academia Sevillana de Ciencias. Sevilla: España. <http://www.rasc.es/discursos-de-ingreso.html>. [06/12/2017], 2013.

Recibido el 12 de octubre del 2017

Aceptado el 18 de diciembre del 2017