

ÍNDICE DE CALIDAD PARA UN SUELO PARDO SIALÍTICO MONOCULTIVADO CON *Saccharum officinarum* L.

Grethel L. Sieiro Miranda* y Pablo Pablos Reyes

Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Carretera CUJAE Km. 1½, Boyeros, La Habana, Cuba.

*Autora para la correspondencia: grethel.sieiro@inica.azcuba.cu

Recibido: 12 de enero de 2021; Aceptado: 19 de mayo de 2021

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue elaborar un Índice de Calidad para Suelos (ICS) a partir de un conjunto mínimo de indicadores edáficos para un suelo Pardo Sialítico, en el experimento codificado Umln-6 con un diseño de bloques al azar con 15 tratamientos y cuatro réplicas con diferentes niveles de NPK en la provincia Santiago de Cuba. Para la elaboración del ICS se seleccionaron indicadores mediante un Análisis de Componentes Principales; aquellos que mantuvieron alta correlación entre ellos fueron descartados para evitar redundancia. Se realizó la comparación de los resultados del ICS entre el momento inicial ($t = 0$) y el final ($t = 17$ años). El procesamiento estadístico se realizó con el paquete de software de análisis avanzado Statistica v.8. Los registros para ambos momentos se compararon mediante la prueba T de Student y la prueba Duncan para rangos múltiples. La relación entre dos variables se demostró mediante la correlación de Spearman a un nivel de significación de 5 %. Los indicadores edáficos pH en agua, potasio y fósforo asimilables, así como los cationes intercambiables potasio, sodio y calcio, conformaron el ICS. Este incluye dos de los tres factores fundamentales en la productividad de los suelos cubanos y evalúa la calidad y fertilidad química del suelo estudiado, pero subestima las componentes físicas y biológicas del mismo.

Palabras clave: Cuba, fertilidad, indicadores, monocultivo, servicios ecosistémicos

QUALITY INDEX FOR A SIALITIC SOIL MONOCULTIVATED WITH *Saccharum officinarum* L.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a Soil Quality Index (ICS) from a minimum set of edaphic indicators for a Sialitic Brown soil, in the Umln-6 coded experiment with a random block design with 15 treatments and four replicas with different levels of NPK in the Santiago de Cuba province. For the elaboration of the ICS, indicators were selected through a Principal Component Analysis; those that maintained a high correlation between them were discarded to avoid redundancy. The ICS results were compared between the initial moment ($t = 0$) and the final moment ($t = 17$ years). Statistical processing was performed with the advanced analysis software package Statistica v.8. The records for both moments were compared using the Student's t test and the Duncan test for multiple ranges. The relationship between two variables was demonstrated by Spearman's correlation at a significance level of 5%. The edaphic indicators pH in water, assimilable potassium and phosphorus, as well as the exchangeable cations potassium, sodium and calcium, made up the ICS. This includes two of the three fundamental

factors in the productivity of Cuban soils and evaluates the quality and chemical fertility of the studied soil, but underestimates its physical and biological components.

Keywords: Cuba, fertility, indicator, monoculture, ecosystem services

INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que, debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó (Sumner, 2000; De Petre *et al.*, 2012; García *et al.*, 2012; CEDRSSA, 2015). No guarda una condición estática, sino que, por efecto del clima y la actividad de los organismos, está sujeto a procesos físicos, químicos y biológicos, que lo transforman permanentemente (CEDRSSA, 2015).

Se presenta en la superficie terrestre como un continuo (pedosfera) interrumpido por otras formaciones. A esa heterogeneidad horizontal (paisaje) le acompaña una anisotropía vertical (perfil). Contiene vida en su superficie y en su seno, y en tal sentido es un sistema viviente, y a pesar de que no se reproduce ni se multiplica y que carece de genes, suele evolucionar y registrar herencias (De Petre *et al.*, 2012).

La fertilidad del suelo, entendida como la capacidad para producir bienes y servicios de forma sustentable, es un concepto amplio que involucra propiedades físicas, químicas y biológicas; sin embargo, el uso continuado del suelo sin realización de prácticas de conservación ha generado una pérdida paulatina de la calidad de estas propiedades (Hirzel *et al.*, 2016).

La calidad del suelo, según Wilson (2017), se define como su capacidad o aptitud para soportar el crecimiento de los cultivos sin que esto resulte en la degradación del suelo o en un daño ambiental y se establece como resultado de asociar la condición del suelo a características necesarias para un uso particular (aptitud). Se considera que involucra dos conceptos: la calidad inherente del suelo para el crecimiento de los cultivos y la calidad dinámica influenciada por el uso o manejo.

Para la interpretación de la condición del suelo en términos de calidad se utilizan indicadores e índices que simplifican y cuantifican las propiedades del mismo (Singh *et al.*, 2015). Un indicador es un parámetro o un valor derivado de parámetros que provee información, describe las propiedades, los procesos y las características, con la finalidad de dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un período dado, con un significado extendido más allá que el directamente asociado con el valor del parámetro (Wilson, 2017).

Prieto-Méndez *et al.* (2013) señalan que estos indicadores deben ser limitados en número, manejables por diversos tipos de usuarios, sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación. Deben contemplar la mayor diversidad de situaciones y tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas. Asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos.

En este sentido, los experimentos de larga duración son esenciales para evaluar los efectos a largo plazo sobre la calidad del suelo. Estos estudios permiten observar los

cambios en las propiedades del suelo bajo diferentes sistemas de manejo, tipos de suelos y condiciones climáticas a largo plazo, así como predecir la tendencia futura ante los efectos principales del cambio global (Suwara *et al.*, 2016).

Los suelos Pardos Sialíticos (Hernández *et al.*, 2015) ocupan el 27,03 % de la superficie cubana, son los más extensos del país y están representados en todas las provincias, aunque son más importantes en las centrales y orientales (Socarrás *et al.*, 2019). Con el 31 % del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar, constituyen el agrupamiento agroproductivo más representativo (Rodríguez *et al.*, 2017). En la provincia Santiago de Cuba ocupan aproximadamente el 48,5 % del territorio dedicado fundamentalmente a la gramínea (ONEI, 2019), así como cuenta con uno de los 23 experimentos de larga duración desarrollados en el país para valorar la fertilidad de este tipo de suelos. Evaluar los cambios en su calidad a largo plazo se hace imprescindible para garantizar su sostenibilidad productiva y tomar decisiones de mejora de ser necesario con el objetivo de evitar su degradación y sustentar los rendimientos del cultivo. El objetivo de la investigación fue elaborar un Índice de Calidad para Suelos (ICS) a partir un conjunto mínimo de indicadores edáficos para un suelo Pardo Sialítico de la provincia Santiago de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el experimento Umln-6 ubicado 300 m al sur del km 921 de la Carretera Central dirección Capitolio Nacional - Santiago de Cuba en las coordenadas 20°22'06.97''N y -76°01'89.31'' W, en el área experimental de la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA) Oriente Sur y bajo las condiciones edáficas de un suelo Pardo Sialítico (Tabla 1) (Hernández *et al.*, 2015).

Tabla 1. Propiedades químicas iniciales del experimento Umln-6

Prof. (cm)	pH(H ₂ O) -log[H ⁺]	M.O	N total %	P total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
me.100g ⁻¹ (cmol.Kg ⁻¹)								
0-22	8,00	3,85	0,19	0,22	51,60	6,39	0,87	0,53
22-42	8,05	1,38	0,07	0,13	51,46	5,52	0,50	0,67
60-70	8,50	0,55	0,03	0,07	30,10	3,04	0,27	0,48
92-102	8,10	0,37	0,02	0,06	30,96	4,66	0,25	0,54

Fuente: INICA (2017)

Se utilizó un diseño de bloque al azar, con cuatro réplicas y 15 tratamientos, conformado por cinco niveles de nitrógeno (0, 50, 100, 150 y 200 kg de N ha⁻¹ con fondo fijo de 25 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 50 kg de K₂O ha⁻¹), cuatro de fósforo (0, 50, 75 y 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ con fondo fijo de 50 kg de N ha⁻¹ y K₂O ha⁻¹), cinco de potasio (0, 100, 150, 200, 300 kg de K₂O ha⁻¹ con fondo fijo de 50 kg de N ha⁻¹ y P₂O₅ ha⁻¹), uno de estos se trató como efecto residual para cada ciclo (300 kg de K₂O ha⁻¹) y un testigo absoluto (0-0-0) (INICA, 1990a).

El estudio comprendió dos ciclos de cosechas, en el primero (1998-2007) se empleó el cultivar C120-78 y se realizaron ocho cosechas; y en el segundo (2008-2016), el C86-12 con siete cosechas. La reposición del estudio se realizó de forma tal que los

tratamientos evaluados quedaran siempre ubicados en la misma parcela, lo que permitió estudiar el efecto de la fertilización mineral sobre el suelo.

La aplicación de los fertilizantes en caña planta, se realizó en el fondo del surco previo a la plantación. En retoño, se efectuó antes de los 20 días posteriores a la cosecha, en un zanjillo previamente abierto con un implemento adecuado y regulado para tal fin, de 15-20 cm de profundidad, a una distancia de 35-40 cm del centro de la cepa, a un solo lado del surco, de forma alterna en cada cosecha (años nones a la izquierda y pares a la derecha). Inmediatamente después de aplicado el fertilizante se tapó con una cultivadora de discos múltiples o tape manual con azadón. Se utilizaron como fuentes portadoras de los nutrientes: urea (46 % de N) para nitrógeno, superfosfato triple (46 % P_2O_5) y cloruro de potasio (60 % K_2O), según INICA (1990a).

Las cosechas se realizaron mediante corte manual en caña verde. La producción de tallos de cada parcela, se determinó por pesaje directo, con el uso de un dinamómetro acoplado a una alzada, estimándose así la variable rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$ de tallos). Los residuos de cosecha (RAC) se distribuyeron de forma homogénea en las correspondientes parcelas, una vez culminadas las labores de cultivos y la fertilización.

Las mediciones fueron realizadas según el Manual de Procedimientos Metodológicos de los Laboratorios de Análisis de Suelo y Tejido Vegetal del INICA (INICA, 1990b). El muestreo de suelo inicial se realizó en cada parcela antes de la plantación y el final después de la cosecha en cada ciclo. Tomándose con una barrena una muestra compuesta, por cinco submuestras en forma de sobre cerrado a la profundidad de 0 a 20 cm.

Para la elaboración del Índice de Calidad para Suelos (ICS) se utilizó la metodología planteada por Barrezueta-Unda *et al.* (2017). La selección de los indicadores se realizó mediante un Análisis de Componentes Principales, aquellos que mantuvieron alta correlación entre ellos fueron descartados para evitar redundancia al conformar el conjunto mínimo de datos (CMD).

Las variables se integraron en la ecuación (1) denominada Índice de calidad normalizada (Q_{IN}), en función de los coeficientes de puntuación (C_s), valores que se obtuvieron al calcular la variación (%) del total de datos explicado por cada CP, dividirla por el total de la varianza acumulada (%) explicada de todos los CP con autovalores > 1 , y multiplicar por los valores promedios de cada indicador del conjunto mínimo de indicadores. Los valores del ICS se categorizaron de acuerdo a los rangos descritos en la tabla 2.

$$Q_{IN} = \sum W_i * C_s \quad (1)$$

Dónde:

Q_{IN} es el Índice de calidad normalizada,

W_i indicador seleccionado,

C_s coeficiente de puntuación.

Se realizó la comparación de los resultados del ICS entre el momento inicial ($t = 0$) y el final ($t = 17$ años). El procesamiento estadístico se realizó con el *software Statistica* v.8. Los registros para ambos momentos se compararon mediante la prueba t de Student y la prueba de Duncan para rangos múltiples, representado mediante gráficos Box & Whisker Plot. La relación entre dos variables se demostró mediante la correlación de Spearman a un nivel de significación de 5 %.

Tabla 2. Niveles de Índice de Calidad para Suelos (ICS) en función de Q_{IN}

Puntuación	Niveles
$Q_{IN} \leq 20$	Muy baja calidad
$20.9 \leq Q_{IN} \leq 38.6$	Baja calidad
$38.7 \leq Q_{IN} \leq 53.8$	Moderada calidad
$53.9 \leq Q_{IN} \leq 61.4$	Alta calidad
$Q_{IN} \geq 61.5$	Muy alta calidad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección del conjunto mínimo de indicadores (CMI)

La aplicación de fertilizantes minerales de manera continuada produce alteraciones en las propiedades físico químicas del suelo, al afectar su aptitud para soportar el crecimiento del cultivo sin que resulte en la degradación del mismo o en un daño ambiental (Wilson, 2017). Para evaluar la condición del suelo en términos de calidad se formula un índice de calidad para suelos (ICS) el cual partirá de la selección de un conjunto mínimo de indicadores (CMI).

La utilización de indicadores simplifica la información sobre el fenómeno de interés, lo que constituye la base de la estructura de un ICS (Barrezueta - Unda *et al.*, 2017). El Análisis de Componentes Principales (ACP) (Tabla 3) muestra que los seis primeros componentes principales (CP) explican el 87,27 % de la varianza total de los datos. Este método permite obtener un número menor de variables capaces de expresar la variabilidad en los datos y es recomendado por varios autores para la determinación del CMI (Wilson, 2017; Barrezueta - Unda *et al.*, 2017).

Tabla 3. Resultado de Análisis de Componentes Principales de indicadores en estudio

Variable	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6
pH - H ₂ O	0,68	0,23	0,06	0,51	0,31	-0,01
pH - KCL	0,34	0,65	0,04	0,06	0,56	0,00
MO	-0,43	0,55	-0,51	0,30	-0,15	0,14
Nt	-0,51	0,59	-0,42	0,22	-0,16	0,04
Pa	-0,39	-0,24	0,48	0,30	0,00	0,66
Ka	-0,36	-0,38	-0,44	-0,22	0,60	0,20
Ki	0,73	-0,25	-0,24	0,40	-0,21	0,21
Ca	0,17	0,70	0,40	-0,26	-0,21	0,06
Mg	-0,39	-0,43	0,11	0,54	0,00	-0,44
Na	0,62	-0,28	-0,50	-0,21	-0,23	0,14
Autovalores	2,41	2,16	1,35	1,11	0,95	0,76
% total de la varianza	24,06	21,58	13,49	11,06	9,53	7,56
Autovalores acumulados	2,41	4,56	5,91	7,02	7,97	8,73
% acumulado	24,06	45,63	59,12	70,18	79,71	87,27

La tabla 4 muestra los coeficientes de correlación entre los indicadores analizados para valorar la calidad del suelo. Se comprueban las correlaciones negativas del pH, determinado tanto en agua como en KCl, con el fósforo asimilable y el magnesio. El sodio, sin embargo, presenta correlaciones negativas y significativas con la materia orgánica, nitrógeno total, fósforo asimilable y magnesio.

Tabla 4. Coeficientes de correlación entre los indicadores estudiados

	pH - KCL	MO	Nt	P(a)	K(a)	K(i)	Ca	Mg	Na
pH - H ₂ O	0,47*	-0,10	-0,16*	-0,16*	-0,28*	0,50*	0,08	-0,14*	0,12*
pH - KCL		0,12*	0,12*	-0,21*	-0,10	0,00	0,41*	-0,29*	-0,04
MO			0,72*	-0,04	0,04	-0,16*	0,08	-0,02	-0,19*
Nt				-0,04	0,01	-0,30*	0,13*	-0,01	-0,25*
Pa					0,07	-0,11	-0,07	0,23*	-0,33*
Ka						-0,20*	-0,44*	0,11	0,05
Ki							-0,15*	-0,06	0,57*
Ca								-0,35*	-0,11
Mg									-0,22*

*Significación a $p \leq 0,05$

Leyenda:

MO: materia orgánica; Nt: nitrógeno total; Pa: fósforo asimilable; Ka: potasio asimilable; Ki: potasio intercambiable; Ca: calcio intercambiable; Mg: magnesio intercambiable; Na: sodio intercambiable.

Los CMI deben ser desarrollados localmente ya que pueden variar en dependencia del tipo de suelo y el uso que se le dé (Wilson, 2017). Este conjunto mínimo queda conformado entonces para el experimento Umln-6 por los indicadores y sus coeficientes de puntuación respectivos (Tabla 5) al tener en cuenta la importancia de estas variables para los ciclos biogeoquímicos del suelo y el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. Los seleccionados en este estudio son aconsejados para su uso en ICS por varios autores como efectivos para describir un suelo en términos de su calidad (Romaniuk, 2017; Toledo y Vázquez, 2017; Mórtoła *et al.*, 2017).

Tabla 5. Selección de indicador por CP y coeficiente de puntuación.

No. CP	Indicador	Coeficiente de puntuación (CS)
1	pH en H ₂ O	0,34
1	Potasio intercambiable	0,34
1	Sodio intercambiable	0,34
2	Calcio intercambiable	0,31
5	Potasio asimilable	0,14
6	Fósforo asimilable	0,11

Ambas formas de determinación del pH se ajustan al criterio de selección por lo que se utilizará pH en agua para evitar redundancia en las variables ya que presentan una

correlación significativa al 0,05 ($r = 0,47$). Aún cuando Armijos y San Martín (2018) refieren que los contenidos de materia orgánica están estrechamente relacionados con la calidad del suelo y su consiguiente fertilidad, en el estudio esta variable presentó coeficientes en el ACP inferiores al umbral establecido por la metodología.

Sin embargo, el ICS elaborado para el estudio incluye dos indicadores (contenido de nutrientes y reacción del suelo) de los tres factores fundamentales señalados por García *et al.* (2012) como más influyentes en la productividad de los suelos cubanos. Esto sugiere que podrá calificar adecuadamente si ha sufrido o no una degradación marcada que pueda afectar la capacidad del mismo para garantizar una producción sostenible y ambientalmente aceptable, entendida como fertilidad del suelo (Hirzel *et al.*, 2016).

Este concepto de calidad involucra otros componentes de la fertilidad y las integra a la productividad del cultivo (Hirzel *et al.*, 2016); la presente investigación subestima los componentes físicos y biológicos del suelo al analizar solamente las variaciones de sus propiedades químicas. Restarle importancia a la integración de estos componentes y su papel en el sistema de producción conllevaría a la afectación de la diversidad y la actividad biológica y por ende aumentos en los costos de producción.

Por otro lado, la fertilidad química de los suelos se considera un factor determinante en la disponibilidad de nutrimentos para las plantas cultivadas (Martín *et al.*, 2018). De esta manera, el ICS evalúa la calidad y fertilidad química del experimento Umln-6 y se formula en la ecuación (2).

$$ICS = 0,34pH (H_2O) + 0,34Ki + 0,34Na + 0,31Ca + 0,14Ka + 0,11Pa \quad (2)$$

Índice de calidad para suelos

Los resultados del índice ubican al suelo de este estudio dentro de la categoría *Moderada*. La calidad del mismo garantiza la producción del cultivo y mantiene su rendimiento sin producir una marcada degradación del suelo en el período de estudio. Aunque se fertiliza para garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos y evitar la pérdida de las reservas naturales del mismo (Martín *et al.*, 2018), el experimento Umln-6 no presenta diferencias entre los tratamientos ensayados y el suelo sin fertilizar (Figura 1).

Barrezueta-Unda *et al.* (2017) plantean que, en condiciones de poca intervención antrópica sobre el suelo, como las de este experimento, los valores de calidad del suelo fueron relativamente mejores. Estas circunstancias sugieren que los diferentes niveles de fertilización no suponen un cambio en la categoría de calidad en el período estudiado.

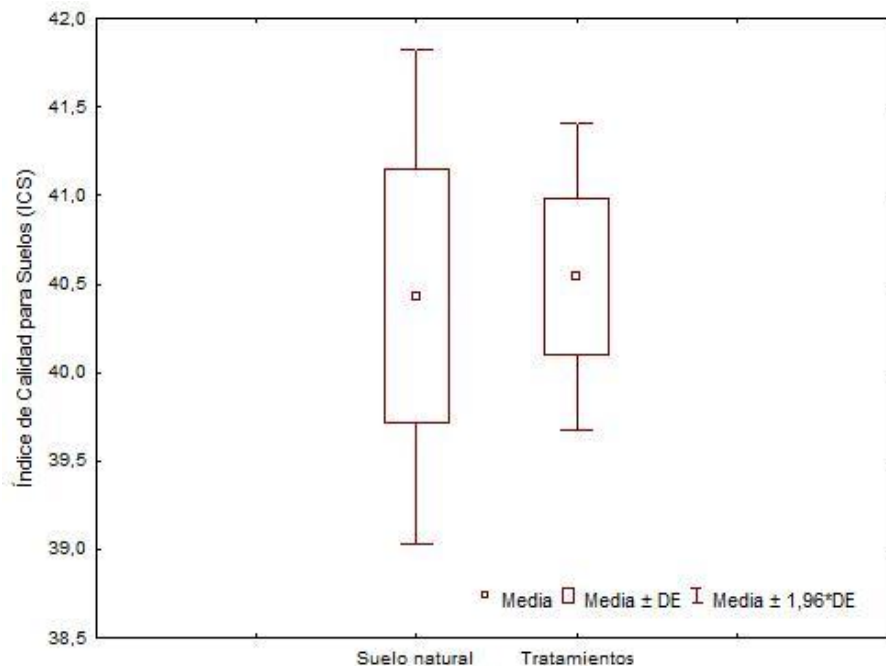


Figura 1. Comparación del Índice de Calidad para Suelos (ICS) medio para el suelo natural y los tratamientos fertilizados. (n=120)

Al comparar los valores del ICS al inicio y final del período de estudio se observa que existen diferencias transcurridos 17 años de monocultivo y aplicación de fertilizantes (Figura 2), lo que se atribuye fundamentalmente al aumento del contenido de fósforo asimilable. La caracterización de los cambios en la calidad del suelo, provee un método efectivo para evaluar el manejo en el cultivo (Wilson, 2017); en el caso de esta investigación ha incrementado su calidad y consolida al manejo dado al cultivo (número reducido de labores, cosecha en verde y cobertura de residuos) como conservador de las cualidades del suelo.

Putra *et al.* (2020) afirman que el monocultivo está asociado con el deterioro de la fertilidad y la calidad del suelo. Sin embargo, Jenkinson *et al.* (2004) refieren pérdidas en la calidad del suelo en períodos superiores al seleccionado para esta investigación y plantean la utilización de registros entre 25 y 120 años para la identificación de cambios en la calidad entre el suelo natural y el fertilizado, así como la reducción de la absorción de los fertilizantes. En este experimento, los niveles de los elementos utilizados como indicadores superan los niveles críticos para el cultivo planteados por McCray *et al.* (2011), por lo que el suelo mantiene su calidad y fertilidad.

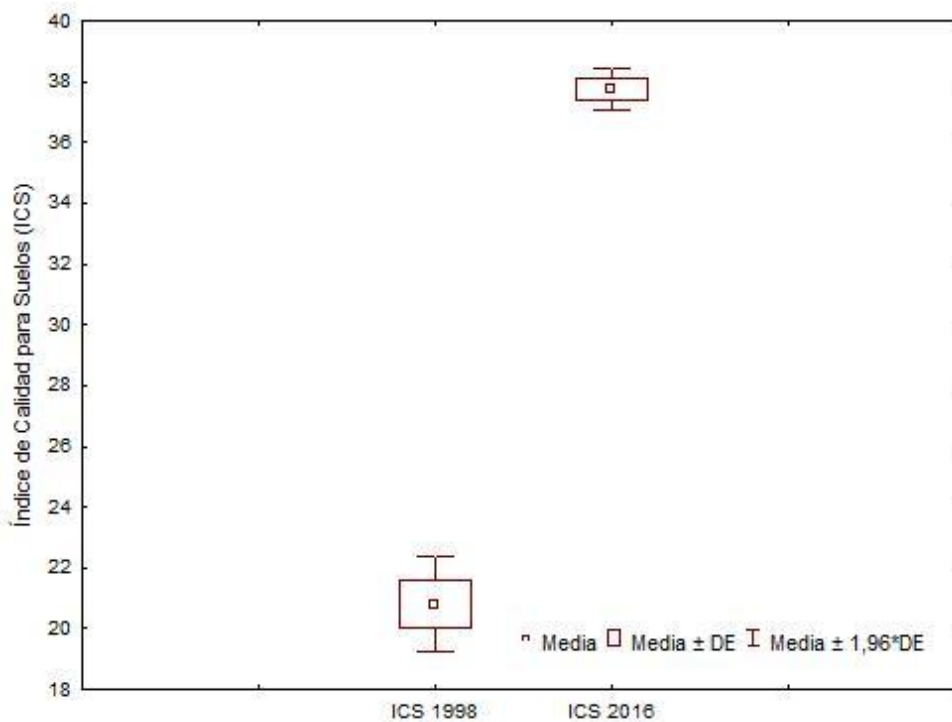


Figura 2. Índice de Calidad para Suelos (ICS) medio al inicio y final del período evaluado (17 años). (n=120)

La elaboración de un ICS para el suelo Pardo sialítico que sustenta el agroecosistema cañero establecido en el experimento Umln-6 permite conocer si los actuales sistemas de manejo lo conservan, mejoran o degradan. El suelo es un sistema vivo, heterogéneo y dinámico por lo que el estudio de su composición y estructura permite mejorar o conservar la fertilidad y la productividad del cultivo, a la vez que garantiza la sostenibilidad medioambiental

CONCLUSIONES

- Los indicadores edáficos pH en agua, potasio y fósforo asimilables, así como los cationes intercambiables potasio, sodio y calcio, conformaron el índice de Calidad del Suelo (ICS).
- El ICS elaborado incluye dos de los tres factores fundamentales en la productividad de los suelos cubanos (contenido de nutrientes y reacción del suelo).

BIBLIOGRAFIA

- ARMIJOS, J.A.; G.M. SAN MARTÍN. 2018. La problemática ambiental asociada con el cultivo de arroz en la parroquia La Cuca del Cantón Arenillas. Tesis para optar al grado de licenciado en Gestión Ambiental. Universidad Técnica de Machala. Machala. Ecuador. 86 pp.
- BARREZUETA-UNDA, S.; A. PAZ y J. CHABLA-CARRILLO. 2017. Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia El Oro-Ecuador. *Revista Cumbres*, 3 (1): 17-24.

- CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE Y LA SOBERANÍA ALIMENTARIA (CEDRSSA). 2015. Recurso Suelo. Elementos para la definición de una política pública en México. 26 pp. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx>. Consultado el: 12/11/2021.
- DE PETRE, A.A.; J.L. PANIGATTI y J.A. FERRER. 2012. Diccionario de términos edafológicos y otras voces asociadas. AACS - UNER. 79 p.
- GARCÍA, Y.; W. RAMÍREZ; S. SÁNCHEZ. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2): 125-138.
- HERNÁNDEZ, A.; J.M. PÉREZ; D. BOSCH; N. CASTRO. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ediciones INCA. 64 pp. ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HIRZEL, J.; S. TOLOZA; F. NOVOA. 2016. Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *Chilean J. Agric. Anim. Sci. ex Agro - Ciencia*, 32 (3): 217-227.
- INICA. 1990a. Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Ministerio del Azúcar. La Habana. Cuba. 100 pp.
- INICA. 1990b. Manual de procedimientos para los laboratorios de suelo y agua. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Ministerio del Azúcar. La Habana. Cuba. 176 pp.
- INICA. 2017. Resultados de dos ciclos de plantación en un estudio de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio de larga duración. Experimento UNPK-6. 40 pp.
- JENKINSON, D.S.; P.R. POULTON; A.E. JOHNSTON; D.S. POWLSON. 2004. Turnover of Nitrogen-15-Labeled Fertilizer in Old Grassland. *Soil Science Society of America Journal* 68.
- MARTÍN, G.M.; R. RIVERA; L.R. FUNDORA; A. CABRERA; N. MARTÍN; C. ALONSO. 2018. Evolución de algunas propiedades químicas de un suelo después de 20 años de explotación agrícola. *Cultivos Tropicales*, 39 (4): 21-26.
- MCCRAY, M.; R.W. RICE; I.V. EZENWA; T.A. LANG; L. BAUCUM. 2011. Nutrición en caña de azúcar: Uso del análisis foliar. *Fertilizar Asociación Civil*, 21: 5-7.
- MÓRTOLA, N.; R. ROMANIUK; M.G. WILSON. 2017. Protocolos de Monitoreo de la Calidad del Suelo. En: WILSON M.G (editor). 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. 1^{ra} ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Argentina. ISBN 978-987-521-826-0.
- OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN DE LA REPÚBLICA DE CUBA (ONEI). 2019. Anuario Estadístico 2018 Santiago de Cuba. Edición 2019. 204 pp.
- PRIETO-MÉNDEZ, J.; F. PRIETO-GARCÍA; O.A. ACEVEDO-SANDOVAL; M.A. MÉNDEZ-MARZO. 2013. Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) Cebaderos del sur del estado de Hidalgo. México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1): 83-91. ISSN: 101-7444.
- PUTRA, R.P; M.R.R. RANOMAHERA; M.S. RIZALUDIN; R. SUPRIYANTO; V.A.K. DEWI. 2020. Investigating environmental impacts of long-term monoculture of sugarcane farming in Indonesia through DPSIR framework. *Biodiversitas*, 21(9): 4945-4958.

- RODRÍGUEZ, I.; H. PÉREZ; H. ARAGÓN; O. LEMAS; V. FRANCISCO; O. PÉREZ y O-CRUZ. Rendimiento mínimo potencial de los suelos dedicados la caña de azúcar en la provincia Sancti Spíritus, Cuba. Memorias del Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de México (ATAM) 2017. Disponible en: <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/4-PÓSTERES.pdf>. Consultado: 12/11/2021.
- ROMANIUK, R. 2017. Metodologías de construcción de índices de calidad de suelos. En: WILSON M.G (editor). 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. 1^{ra} ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Argentina. ISBN 978-987-521-826-0.
- SINGH, B.; J. SINGH; G. SINGH; G. KAUR. 2015. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize – wheat rotation. *Agronomy*, 5: 220-238. Doi:10.3390/agronomy5020220.
- SOCARRÁS, Y.; A. HERNÁNDEZ; E. TERRY; P.J. GONZÁLEZ; A.L. SÁNCHEZ; O. DELGADO. 2019. Cambios en las propiedades morfológicas de suelos pardos Sialíticos sometidos a diferentes manejos agrícolas en Cuba. *Idesia [on line]*, 37(3): 47-53.
- SUMNER, M.E. 2000. Handbook of Soil Science. CRC Press. USA.
- SUWARA, I; K. PAWLAK-ZARĘBA; D. GOZDOWSKI; A. PERNANOWSKA. 2016. Physical properties of soil after 54 years of long-term fertilization and crop rotation. *Plant Soil Environment*, 62 (9):389-394.
- TOLEDO, D.M; S. VÁZQUEZ. 2017. Una propuesta metodológica para la selección de indicadores y la obtención de índices de calidad de suelo. En: WILSON M.G. (editor). 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. 1^{ra} ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Argentina. ISBN 978-987-521-826-0.
- WILSON, M.G (editor). 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina*. 1^{ra} ed. Entre Ríos: Ediciones INTA. Argentina. ISBN 978-987-521-826-0.