

EVOLUCIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DESPUÉS DE 20 AÑOS DE EXPLOTACIÓN AGRÍCOLA

Evolution of some chemical properties of a soil after 20 years of agricultural exploitation

Gloria M. Martín^{1✉}, Ramón Rivera Espinosa¹, Luis R. Fundora¹, Adriano Cabrera¹, Nelson Martín² y Carmen Alonso^{2†}

ABSTRACT. The objective of the present work was to study the evolution of some chemical properties of a soil to compare its state of fertility, before and after remaining 20 years under intensive production of several cultivations. The Farm "La Asunción" belongs to the Cooperative of Credits and Services (CCS) "Nelson Fernández", municipality San José de las Lajas, county Mayabeque, Cuba. The climate is tropical subhumid and the soil is classified as Nitisol Rodic Eutric. The first sampling to evaluate the fertility of the soil was carried out in 1997 and in the year 2017 repeated the samplings. The content of organic matter was 2.55 % in 1997 and in 2017 was 2.97 %, the Test t ($\alpha=0$.

05) demonstrated that the two stockings are similar to each other. For the pH, in 1997 it was 6.34 and in 2017 ascended up to 7.25 due to the intensive use of watering waters with high content of calcium bicarbonate. For the calcium and the magnesium the values increased, in the calcium, of 8.32 to 17.61 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ and for the magnesium, of 1.45 to 3.31 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; however, in the case of the relationship Ca/Mg was not variations among the two realized evaluations. For the phosphorus it was an increase of the available contents of this element in the soil, of 49.53 mg kg^{-1} in 1997 to 1 535 mg kg^{-1} in 2017, related with the continuous applications of fertilizers, situation similar with the K_2O that varied from 0.007 to 1.22 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. For the case of the capacity of exchange bases, it varied from 12.17 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ up to 21.94 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Key words: soils, fertilizers, nutrient content

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la evolución de algunas propiedades químicas de un suelo y comparar su estado de fertilidad, antes y después de permanecer 20 años bajo producción intensiva de cultivos varios, se estudió la finca "La Asunción". El clima es tropical subhúmedo y el suelo se clasifica como Ferralítico Rojo Lixiviado. El primer muestreo se realizó en el año 1997 y en el año 2017 se repitieron los muestreos. El contenido de materia orgánica era de 2,55 % en 1997 y en 2017 fue de 2,97 %, la prueba t ($\alpha=0,05$) demostró que las dos medias son semejantes entre sí. Para el pH, en 1997 fue de 6,34 y en 2017 ascendió hasta 7,25 debido al uso intensivo de aguas de riego con elevado contenido de bicarbonato de calcio. Para el calcio y el magnesio los valores aumentaron, en el calcio, de 8,32 a 17,61 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ y para el magnesio, de 1,45 a 3,31 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$; sin embargo, en el caso de la relación Ca/Mg no se encontraron variaciones entre evaluaciones realizadas. Para el fósforo se encontró un aumento de los contenidos disponibles de este elemento en el suelo, de 49,53 mg kg^{-1} en 1997 a 1535 mg kg^{-1} en 2017, relacionado con las continuas aplicaciones de fertilizantes efectuadas, situación semejante a la encontrada con el K_2O , que varió de 0,007 a 1,22 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Para el caso de la capacidad de intercambio de bases, varió desde 12,17 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ hasta 21,94 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

Palabras clave: suelos, fertilizantes, contenido de nutrimentos

INTRODUCCIÓN

Durante su formación, el suelo en condiciones naturales de los ecosistemas, adquiere propiedades en equilibrio con el medio. No obstante, el hombre requiere de la producción de alimentos y materias primas, con lo cual surge la agricultura, que

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

² Universidad Agraria de la Habana, Mayabeque, Cuba

✉ gloriain@inca.edu.cu

conlleva al cambio de los bosques naturales iniciales a áreas de cultivos o pastizales. Estos cambios indiscutiblemente provocan cambios en las propiedades de los suelos (1).

Una de las funciones económicas del suelo es proporcionar y mantener una buena productividad de los cultivos. El manejo de los suelos, bajo esta premisa, deberá tender a sostener y a mejorar la calidad de este recurso natural. Para cuantificarla, se pueden usar indicadores que deben ser medidos para la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas, los que deberán ser fáciles de determinar y sensibles a los cambios que generan las prácticas de manejo (2).

La fertilidad de los suelos, en particular la química, se considera un factor determinante en la disponibilidad de nutrimentos para las plantas cultivadas. Es difícil comprender la fisiología de la nutrición de los cultivos económicos, sin un estudio adecuado de los indicadores que conforman la fertilidad y naturaleza química de los suelos, sobre todo, en las regiones tropicales (3).

Además, el conocimiento de los niveles de nutrimentos en el suelo, su composición físico-química, los niveles de extracción de los distintos cultivos y el estado nutricional de estos es la fase inicial de cualquier intento de una mejora cuantitativa y cualitativa de la producción, así como el elemento básico para lograr un uso racional y equilibrado de los fertilizantes que permitirá evitar el despilfarro económico (4).

Es por ello que la fertilización tiene como objetivo fundamental incrementar la fertilidad natural del suelo, para garantizar las necesidades nutricionales de los cultivos y evitar la pérdida de las reservas naturales del mismo.

El muestreo de suelos es el primero de una serie de pasos dentro del proceso que lleva a la recomendación de fertilización y corrección de suelos (fuente, dosis, momento y forma). Antecede al análisis de las muestras, la interpretación de resultados y el diagnóstico (5).

Es por ello que el análisis del estado de la fertilidad de un suelo y su evolución a través de los años, se torna vital en el estudio de sistemas de recomendación de fertilizantes y enmiendas en los sistemas agrícolas. Ligado a ello, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la evolución de algunas propiedades químicas de un suelo para comparar su estado de fertilidad, antes y después de permanecer 20 años bajo producción intensiva de cultivos varios.

MATERIALES Y MÉTODOS

La finca "La Asunción" pertenece a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) "Nelson Fernández", del municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba. Está ubicada en los 22°98'11" de Latitud Norte

y los 82°14'14" de Longitud Oeste, a 132 m s.n.m. El clima es tropical subhúmedo (Aw) con una estación cálida y húmeda entre los meses de mayo a octubre y menos cálida y seca de noviembre a abril.

El suelo se clasifica como Ferralítico Rojo Lixiviado, según la Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 (6), enclavado en la Llanura Roja Habana-Matanzas, sobre roca caliza. Hasta 1990 la finca se dedicó a la producción intensiva de forrajes (*Pennisetum purpureum*) y después de esa fecha, pasó a usufructo de los campesinos, que comenzaron la producción de cultivos varios.

La finca tiene un área total de 22 ha, de las cuales 18 ha se dedican a la siembra de cultivos varios y el resto está ocupada por viviendas, almacenes, establos, cochiqueras y áreas de frutales perennes: mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), mamey (*Pouteria sapota*), guayaba (*Psidium guajava*) y cocoteros (*Coccus nucifera*).

El área de cultivos varios está dividida en diez lotes, con diferentes áreas, en los cuales se produce: maíz (*Zea mays*), boniato (*Ipomoea batata*), yuca (*Manihot esculenta*), tomate (*Solanum lycopersicum*), plátano (*Musa* sp.), papayo (*Carica papaya*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y ají pimiento (*Capsicum annuum*) como principales cultivos.

En la finca, de manera general, se sigue la costumbre de sembrar en sucesión constante de cultivos, manteniendo al suelo cubierto durante todo el año. La preparación de suelo se realiza de forma tradicional, con dos o tres pases de arado y dos de grada. La fertilización se realiza aplicando dosis de aproximadamente 5 t ha⁻¹ año⁻¹ de urea, fórmula completa (9-13-17) y KCl. A lo largo de los años han aplicado diferentes bioproductos estimulantes del crecimiento vegetal y biofertilizantes, como Biobras®, FitoMas®, EcoMic®, Azofert®, entre otros. Los cultivos que más se fertilizan son el papayo, tomate, frijol, plátano y ají pimiento. Excepto en la temporada de lluvias, se aplica riego cada 7-10 días y se realiza control químico de plagas.

El primer muestreo para evaluar la fertilidad del suelo se realizó en el año 1997. Para ello se muestrearon todos los lotes de la finca donde se siembran los cultivos anuales. En el año 2017, se repitieron los muestreos realizados, en los mismos lotes que los productores mantienen como áreas dentro de la finca para su manejo.

Tanto en 1997 como en 2017 se tomaron diez submuestras de suelo por cada lote, en forma muestreo aleatorio simple (7), a una profundidad de 0–20 cm (capa arable), las que conformaron una muestra compuesta por lote. Los análisis químicos realizados a cada muestra, así como la metodología empleada se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Propiedades del suelo evaluadas en la finca y metodologías empleadas

Evaluación	Metodología empleada
pH	potenciométrico, con relación suelo:solución de 1:2,5 (8)
Materia orgánica del suelo (%)	Walkley y Black (9)
P asimilable (mg kg ⁻¹)	extracción con H ₂ SO ₄ 0,1 Mol L ⁻¹ con relación suelo:solución 1:25 (10)
Cationes intercambiables (cmol _c kg ⁻¹)	extracción con NH ₄ Ac 1 Mol L ⁻¹ a pH 7 (11) <ul style="list-style-type: none"> • complejometría (Ca y Mg) • fotometría de llama (K)
K ₂ O	Por cálculo, a partir del K intercambiable, expresándose en mg kg ⁻¹ ,
Relación Ca/Mg	Por cálculo
Capacidad de Intercambio de Bases (CIB)	Por sumatoria de las bases cambiabiles determinadas, expresándose en cmol _c kg ⁻¹

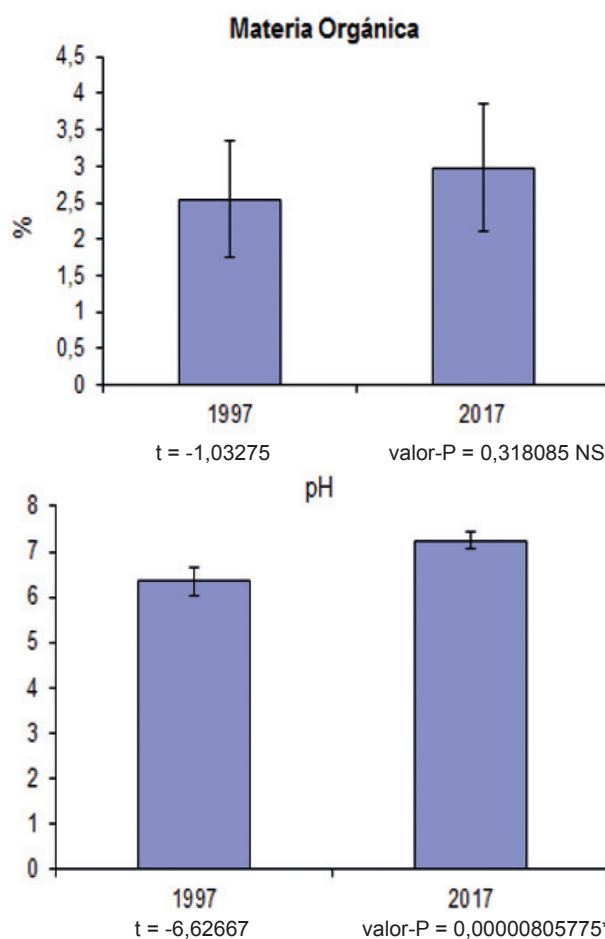
A los resultados de cada año evaluado se les calculó las medias. Con posterioridad, se realizó un análisis de comparación de muestras pareadas, mediante la prueba t ($\alpha=0,05$), planteando como hipótesis nula que las muestras de los dos años evaluados son iguales y como hipótesis alternativa que las muestras difieren entre sí. Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurión XV (12).

RESULTADOS

En la Figura 1 se observan los resultados del contenido de materia orgánica y el pH del suelo. En 1997, el contenido de materia orgánica era de 2,55 % y en 2017 fue de 2,97 %, la prueba t demostró que las dos medias son semejantes entre sí. Para el caso del pH, en 1997 fue de 6,34 y en 2017 ascendió hasta 7,25, las medias en este caso resultaron diferentes entre sí.

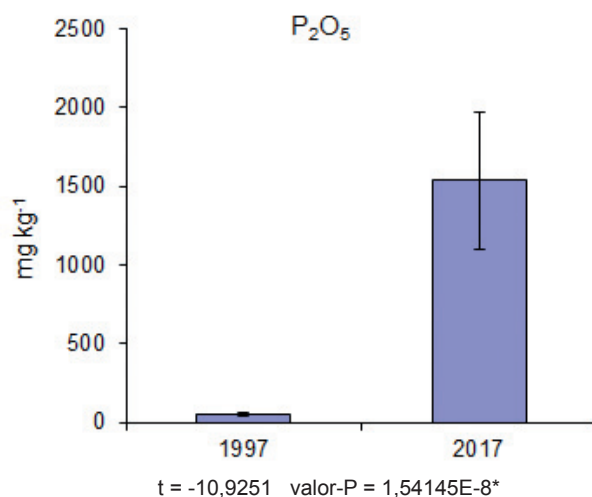
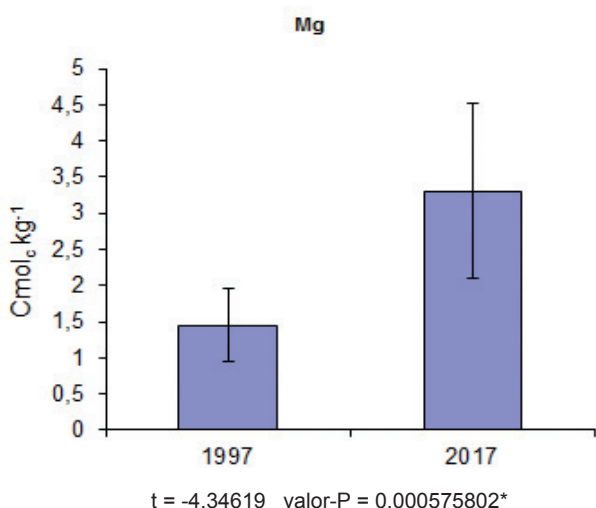
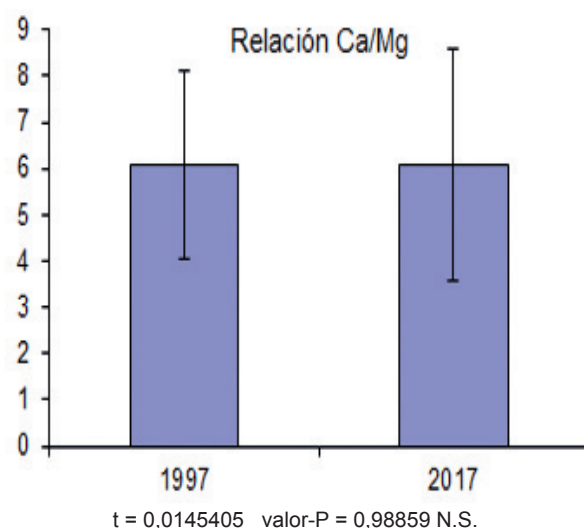
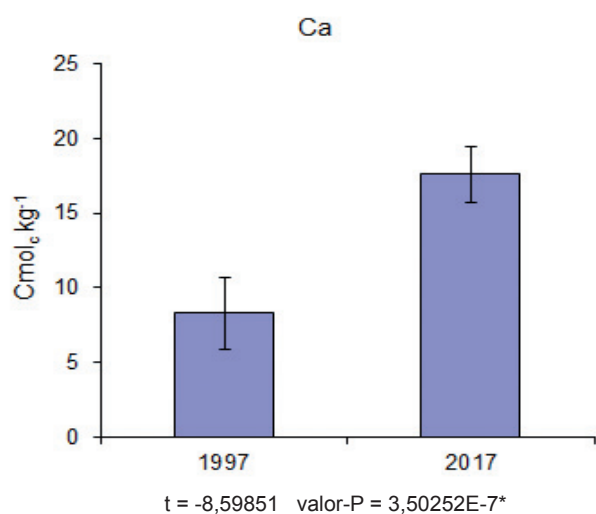
En la Figura 2 se muestran los contenidos de calcio y magnesio asimilables encontrados en el suelo. Para ambos elementos, los valores aumentaron en los 20 años de explotación agrícola, oscilando de 8,32 cmol_c kg⁻¹ a 17,61 cmol_c kg⁻¹ para el Ca y de 1,45 cmol_c kg⁻¹ a 3,31 cmol_c kg⁻¹ para el Mg. Para ambos casos se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$).

Sin embargo, en el caso de la relación internutrientes Ca/Mg (Figura 3), no se encontraron variaciones en los años transcurridos entre las dos evaluaciones, oscilando los valores entre 6,08 y 6,06, los que se encuentran dentro del rango óptimo reportado por la literatura (13) para un equilibrado contenido entre ambos nutrientes en el suelo. Para el caso del fósforo (Figura 3) presentó diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$), con un aumento de los contenidos disponibles de este elemento en el suelo, que en 1997 se encontraba en 49,53 mg kg⁻¹ y aumentó hasta 1 535,96 mg kg⁻¹ en 2017, el contenido de fósforo.



Barras verticales: desviación estándar de las medias
t = estadístico prueba t, p = valor p de la prueba t
* medias desiguales ($p>0,05$)

Figura 1. Evaluación de la materia orgánica y el pH del suelo de la finca "La Asunción" en los dos años evaluados



Barras verticales: desviación estándar de las medias
 t = estadístico prueba t, p = valor p de la prueba t
 * medias desiguales (p>0,05)

Barras verticales: desviación estándar de las medias
 t = estadístico prueba t, p = valor p de la prueba t
 * medias desiguales (p>0,05)

Figura 2. Cambios en los contenidos de calcio y magnesio en el suelo de la finca "La Asunción" en los dos años evaluados

Figura 3. Evaluación Ca/Mg y contenido de P asimilable en el suelo de la finca "La Asunción" en los dos años evaluados

Los contenidos de potasio disponible y la capacidad de cambio de bases se muestran en la Figura 4. El K₂O aumentó considerablemente, desde 0,00718 mg kg⁻¹ en 1997 a 1,22 mg kg⁻¹ en 2017. Para el caso de la capacidad de cambio, varió desde 12,17 cmol_c kg⁻¹ hasta 21,94 cmol_c kg⁻¹. Para ambos casos se encontró diferencia estadísticamente significativa (p<0,05).

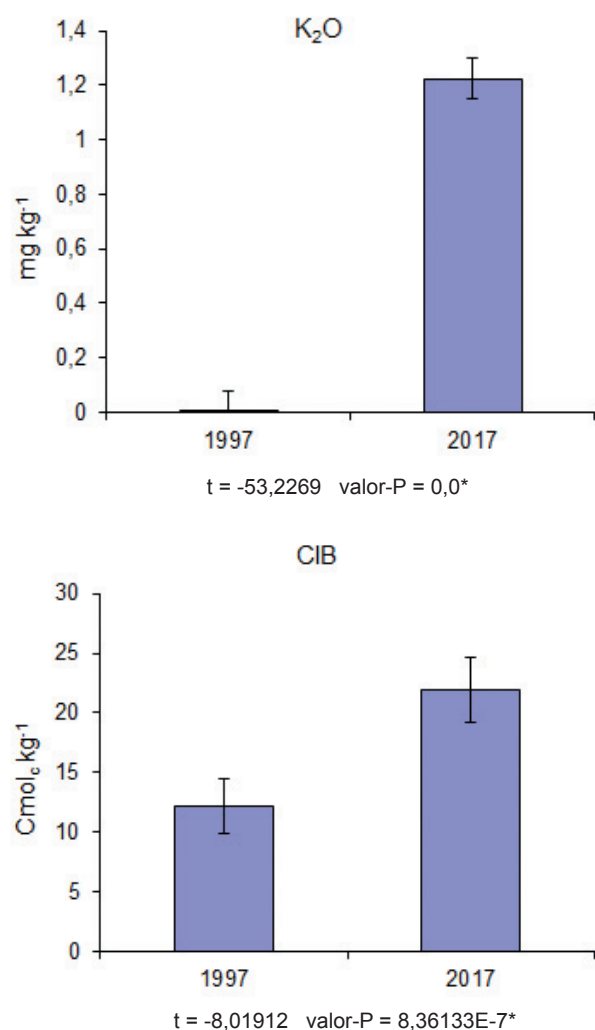
DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de esta investigación muestran que a lo largo de 20 años de agricultura intensiva, el sistemático empleo de fertilizantes químicos (comunicación personal Rolando Muñoz Casas, productor Finca "La Asunción"), ha

provocado un aumento de los valores del pH, K₂O, P₂O₅, Ca, Mg y CCB, permaneciendo similares el contenido de materia orgánica y la relación Ca:Mg.

Los reportes sobre el efecto de la aplicación de fertilizantes en las propiedades del suelo son divergentes, lo que puede atribuirse a la diversidad de ecosistemas edáficos sobre los que se aplican, así como a la naturaleza química de los productos aplicados (14).

De ese modo, en Argentina se ha encontrado que en suelos agrícolas, las propiedades químicas evaluadas mostraron valores menores en todos los indicadores cuantificados, con respecto a suelos no cultivados, debido al laboreo y otras prácticas de agricultura intensiva (2).



Barras verticales: desviación estándar de las medias
 t = estadístico prueba t, p = valor p de la prueba t
 * medias desiguales (p>0,05)

Figura 4. Cambios del potasio disponible y la capacidad de intercambio de bases en el suelo de la finca "La Asunción" en los dos años evaluados

En México, el cambio de uso del suelo de forestal a agrícola implicó disminución en los contenidos de materia orgánica y CIC y acidificación del pH producto de la adición de fertilizantes nitrogenados y biocidas (14). Sin embargo, en esta investigación, los resultados no coinciden con lo planteado por estos autores.

En la finca "La Asunción", después de 20 años de agricultura intensiva, el pH aumentó en casi una unidad, lo que quiere decir que aumentó en 10 veces la cantidad de iones OH⁻ presentes en el suelo. Estos datos corroboran lo planteado por otros autores quienes constatan entre los principales problemas ambientales vinculados con la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en las provincias

habaneras, la alcalinización de más del 40 % de la superficie ocupada por estos suelos (15). El proceso de alcalinización de estos suelos se relacionan con factores antrópicos (3,16), como son, el uso, durante décadas, de aguas duras (bicarbonatadas cálcicas) para el riego agrícola y el incremento de la temperatura del suelo en 0,6 °C, debido a la influencia del cambio climático.

Respecto al contenido de materia orgánica, no se encontraron diferencias en los valores de este indicador en los dos años evaluados, al parecer, es resultado de que como práctica agrícola habitual, los productores incorporan los residuos de cosecha al suelo y mantienen al mismo con cobertura vegetal (cultivos) el mayor tiempo posible.

Una posible explicación a esto pudiera estar relacionada con el hecho de que la incorporación de residuos al suelo y la cobertura permanente del mismo son prácticas agroecológicas que favorecen la conservación y el aumento de la materia orgánica del suelo (17) y en este caso, debido a la agricultura intensiva aplicada en la finca, este indicador se encuentra en una especie de "equilibrio" entre las prácticas conservacionistas y las de agricultura intensiva que se aplican por igual en la finca y que ha provocado que no se encontraran diferencias estadísticas entre los valores obtenidos en 1997 y 2017.

Analizando los contenidos de P₂O₅ y K₂O, su elevado contenido en el suelo está en correspondencia con los elevados niveles de fertilización química que se realizan en la finca, según referencia de los propios productores. Es de señalar que estos dos elementos se acumulan en el suelo, sobre todo en sistemas agrícolas con fertilización mineral (18).

Al respecto, desde la década de los 90 en Cuba se planteó que los suelos Ferralíticos Rojos están sobreabastecidos de P y K, y esos contenidos no se corresponden con los observados para esos mismos suelos en condiciones naturales, lo que demuestra el efecto quimizador de los fertilizantes portadores de estos elementos, que se han aplicado de manera continuada en la agricultura intensiva realizada sobre estos suelos (19).

En relación a los contenidos de Ca y Mg, su aumento puede ser una consecuencia de las continuas aplicaciones de fertilizantes realizadas, debido a que estos cationes a veces forman parte de los rellenos propios del producto fertilizante. Estos aumentos de las bases intercambiables han traído por consecuencia que se eleve la CCB de los suelos de la finca. Sin embargo, al valorar la relación Ca:Mg la media es óptima, oscilando entre 2 y 6, por lo cual aún no se están presentando desequilibrios en las relaciones internutrientes (13).

En resumen, los indicadores químicos y físicos caracterizan las propiedades del suelo y adquieren importancia facilitando el diagnóstico agroecológico, especialmente cuando se los analiza en conjunto evaluando su cambio en el largo plazo. El conocimiento de indicadores apropiados para cada zona permite evaluar los cambios producidos por los sistemas productivos, el manejo y la intensificación productiva (2).

CONCLUSIONES

Al realizar evaluaciones del suelo con un intervalo de 20 años, se encontró un aumento del pH, la CIB, el K_2O , P_2O_5 , Ca y Mg del suelo, manteniendo estables los contenidos de materia orgánica y la relación Ca:Mg, todo lo cual permite considerar que la fertilidad del suelo ha acrecentado con la agricultura intensiva que se aplica en la finca "La Asunción".

BIBLIOGRAFÍA

- Hernández A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO, et al. Degradación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la Llanura Roja de La Habana, por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2014. 156 p.
- Marelli H, Arce J, Marelli P, Conde B, Juárez IM. Indicadores de sustentabilidad del suelo en diferentes áreas del centro-sur de la Provincia de Córdoba. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. 2017;(27):27–30.
- John-Louis CM, Vantour-Causse A, Tamayo AA. Estado de la fertilidad química de los suelos ferralíticos rojos de la granja Los Pinos. *Revista Ingeniería Agrícola*. 2017;7(3):17–22.
- Villar EM, Rodríguez MSA. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen [Internet]. 3ra ed. España: Logroño: Universidad de La Rioja, Servicios de Publicación; 2014 [cited 2018 Aug 30]. 29 p. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902>
- Carretero R, Marasas PA, Souza E, Rocha A. Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos. *Archivos Agronómicos*. 2016;(15):1–11.
- Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
- Bautista F, Heydrich SC, Cervantes IS. Suelos. In: Bautista F, editor. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* [Internet]. 2da ed. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); 2011 [cited 2018 Aug 31]. p. 227–58. Available from: <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000050337>
- NC ISO 10390. Determinación de pH. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 1999.
- NC 51. Determinación del por ciento de materia orgánica. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 1999.
- NC 52. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 1999.
- NC 65. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de los cationes intercambiables del suelo. La Habana: Oficina Nacional de Normalización; 2000.
- STATGRAPHICS® Centurion XVI. Manual de usuario [Internet]. Estados Unidos de América: StatPoint Technologies, Inc.; 2010. 305 p. Available from: <https://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2015/03/Centurion-XVI-Manual-Principal.pdf>
- Cruz E, Cruz A, Aguilera LI, Norman HT, Velázquez RA, Nava G, et al. Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo. *Terra Latinoamericana*. 2012;30(2):189–97.
- Cánepa Y, González AJ, González A, Hernández A. Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa "Lázaro Peña" de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(1):80–5.
- Hernández A, Cabrera A, Borges Y, Vargas D, Bernal A, Morales M, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(3):45–51.
- Martínez F, Gómez L. La fertilización de los cultivos bajo una perspectiva agroecológica. In: *Sembrando en Tierra Viva. Manual de Agroecología*. 1ra ed. La Habana, Cuba; 2015. p. 67–86.
- Kai T, Mukai M, Araki KS, Adhikari D, Kubo M. Analysis of chemical and biological soil properties in organically and conventionally fertilized apple orchards. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. 2016;05(02):92–9. doi:10.4236/jacen.2016.52010
- Orellana R, Valdés M, Hernández O, Quintero PL. Consecuencias de la aplicación excesiva de fertilizantes minerales en el estado físico de los suelos. *Revista Agricultura Orgánica de la ACTAF*. 1996;2(1):23–4.
- Herrera Altuve JA, Ramírez Santoyo LF. Análisis químico para caracterizar la fertilidad de los suelos. In: *Métodos de evaluación de la fertilidad de suelos y la necesidad de nutrición de los cultivos. Tomo 2. Análisis químicos como indicadores*. 1ra ed. México-Cuba: Universidad de Guanajuato-Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2016. p. 2–180.

Recibido: 23 de abril de 2018

Aceptado: 9 de agosto de 2018