



<https://eqrcode.co/a/kOAY9q>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Radial chromatography for systemic monitoring of soils with different management

Cromatografía radial para el monitoreo sistémico de suelos con diferentes manejos

Dr.C. Mayra Arteaga-Barrueta^{I*}, Est. Cesar Yesca-Jarquín^{II}, Ing. Adrián Álvarez-González^I, Lilian Otaño-Corona^I, José Antonio Pino-Roque^{III}, Est. Alejandro. Carlos Evangelista^{II}, Reinaldo Reyes-Rodríguez^I,

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad de Oaxaca, México.

^{III} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemáticas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

ABSTRACT. The FAO incentives the sustainable administration of the management of the soils, for the danger that implies its degradation, promoting the conservation in its use in the current global context of climatic change. The conventional analytic techniques usually employees for the monitoring of the agricultural soils are expensive, what limits their systematicity. Before these antecedents the present work has as objective to evaluate the viability of the chromatography of radial paper as complementary analytic method for the systemic study of soils Red Ferralitics with different management. Soils moisturized Red Ferralitics was selected (FRh) lower different management and they were characterized using the chromatography of circular paper and the traditional quantitative analytic methods for its study. You establishing models of multiple regressions among the quantitative and qualitative variables: wide of the areas and of the radiations in the chromatogram. They were achieved you chrome distinctive in function of the management of the soils and 70% of the regression models obtained to 95% of dependability they showed correlation coefficients (R²) superiores to 90%, those that could predict physical-chemical and biological properties of the floors in future studies. The obtained results demonstrate the effectiveness of the technical cromatográfica for the previous and quick evaluation of the quality of the soils with different management that it would allow to channel the quantitative analysis of the same ones when it is required, making viable the monitored of the same ones with potentialities to be applied in different productive scenarios of the country.

Keywords: Sustainable Agriculture, Soils Red Ferralitics, Degradation, Soils Analysis

RESUMEN. La FAO incentiva la gestión sustentable del manejo de los suelos, por el peligro que implica su degradación, promoviendo la conservación en su uso en el actual contexto global de cambio climático. Las técnicas analíticas convencionales usualmente empleadas para el monitoreo de los suelos agrícolas son costosas, lo que limita su sistematicidad. Ante estos antecedentes el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la viabilidad de la cromatografía de papel radial como método analítico complementario para el estudio sistémico de suelos Ferralíticos Rojos con diferentes manejos. Se seleccionaron suelos Ferralíticos Rojos hidratados (FRh) bajo diferentes manejos y se caracterizaron utilizando la cromatografía de papel circular y los métodos analíticos cuantitativos tradicionales para su estudio. Se estableciendo modelos de regresión múltiple entre las variables cuantitativas y cualitativas: ancho de las zonas y de las radiaciones en el cromatograma. Se lograron cromas distintivas en función del manejo de los suelos y el 70% de los modelos de regresión obtenidos al 95% de confiabilidad mostraron coeficientes de correlación (R²) superiores al 90%, los que pudieran predecir propiedades físico-químicas y biológica de los suelos en estudios futuros. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad de la técnica cromatográfica para la previa y rápida evaluación de la calidad de los suelos con diferentes manejos, que permitiría encauzar el análisis cuantitativo de los mismos cuando sea requerido, haciendo más viable el monitoreo de los mismos con potencialidades para ser aplicada en diferentes escenarios productivos del país.

Palabras clave: agricultura sostenible, suelos Ferralíticos Rojos, degradación, análisis de suelo.

*Author for correspondence: Mayra Arteaga-Barrueta, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>

Received: 13/10/2020.

Approved: 18/06/2021.

INTRODUCTION

The inadequate management of the soils applied for many years due to the use of models with high inputs and an agricultural exploitation beyond their possibilities, have led to their deterioration. This is one of the most pressing difficulties in the context of the global food crisis. In this regard, Febles *et al.* (2018), refer that between five and seven million ha of fertile soil are lost, with 70% being affected by degradation, specifying it for the Red Ferralitic soils of the Mayabeque province, where 44.86% of them are currently very few productive.

In this sense, since 2012 it has been proposed that the protection of soils constitutes a problem of national security and sustainability (Cánepa *et al.*, 2012), for which strategies must be established with technological procedures and a surveillance system for them.. This corresponds to the guidelines established in 2017, in the FAO 2030 agenda for the sustainable development of peoples, an aspect that is actively promoted in the year 2015 to 2024, considered as the international decade of soil. Despite these conditions, the monitoring of the impact of the operations carried out is not generalized, since the conventional protocols used are not always feasible to be applied in a systematic way, due to the high cost and laboriousness of some techniques, equipment and instruments required in the quantitative analysis of soil quality.

The circular or radial paper chromatography technique, whose method was introduced for the analysis of the health of soils by Pheiffer in 1933, has now been taken up for these purposes in countries such as the United States, Canada, Germany and spread throughout Latin America mainly in Mexico, Colombia and Brazil. The work carried out by Restrepo and Pinheiro have played a fundamental role, taking it to producers in rural areas due to its accessibility at the field level, as it does not require expensive analytical equipment and allows obtaining integrated information on physical and chemical properties., biological and biochemical of soils Restrepo and Pinheiro (2015).

Despite this, the scientific literature for these purposes has not yet been generalized and the integration of radial cormatography in conventional soil quality monitoring protocols has not been established, which could make it a viable alternative to establish the systematic monitoring of their status during handling. The extension of this technique depends on having standard chromas of the materials to be studied and its greater effectiveness with the models that allow making predictions to be able to conduct the quantitative analysis of the soils for its more extensive study in the different scenarios. Aspect that despite the advantages of this technique may limit its establishment in conventional protocols for monitoring the state of soils, especially Cuban and Red Ferralitics, where there are no references in this regard.

In accordance with these antecedents, the present work was carried out with the objective of evaluating the viability of radial chromatography as a complementary analytical method for the systemic study of Red Ferralitic soils with different manage-

INTRODUCCIÓN

Los manejos inadecuados de los suelos aplicados durante muchos años debido a la utilización de modelos con altos insumos y una explotación agrícola por encima de las posibilidades de los mismos, han conllevado a su deterioro. Esto es una de las dificultades más apremiantes en el marco de la crisis alimentaria mundial. Al respecto Febles *et al.* (2018), refieren que se pierden entre cinco y siete millones de ha de suelo fértil, llegando el 70 % afectarse por la degradación, especificándolo para los suelos Ferralíticos Rojos de la provincia Mayabeque, donde, el 44,86% de ellos actualmente son muy pocos productivos.

En tal sentido, desde el 2012 se plantea que la protección de los suelos constituye un problema de seguridad nacional y sustentabilidad (Cánepa *et al.*, 2012), para lo que se deben establecer estrategias con procedimientos tecnológicos y un sistema de vigilancia a los mismos. Esto se corresponde con los lineamientos establecidos en el 2017, en la agenda del 2030 de la FAO para el desarrollo sostenible de los pueblos, aspecto que se promueve activamente en el año 2015 al 2024, considerada como la década internacional del suelo. A pesar de estas condiciones, el monitoreo del impacto de los manejos realizados no son generalizados, pues los protocolos convencionales utilizados no siempre son viables para ser aplicados de manera sistemática, por el alto costo y laboriosidad de algunas técnicas, equipos e instrumentales requeridos en el análisis cuantitativo de calidad de los suelos.

La técnica de cromatografía de papel circular o radial, cuyo método fue introducido para el análisis de la salud de los suelos por Pheiffer en 1933, en la actualidad se ha retomado con estos fines en países como Estados Unidos, Canadá, Alemania y extendido por América Latina fundamentalmente en México, Colombia y Brasil. Los trabajos realizados por Restrepo y Pinheiro han jugado un rol fundamental, llevándolo hasta los productores en las zonas rurales por su accesibilidad a nivel de campo, al no requerir de equipamiento analítico costoso y de permitir la obtención de información integrada de las propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas de los suelos Restrepo y Pinheiro (2015).

A pesar de esto, aun no se generaliza la bibliografía científica con estos fines y no se ha establecido la integración de la cormatografía radial en los protocolos convencionales de monitoreo de la calidad de los suelos, lo cual pudiera convertirlo en una alternativa viable para establecer la sistematicidad en el seguimiento de estado de los mismos durante su manejo. La extensión de esta técnica depende de contar con cromas patrones de los materiales a estudiar y su mayor efectividad con los modelos que permitan hacer predicciones para poder conducir el análisis cuantitativo de los suelos para su estudio más extensivo en los diferentes escenarios. Aspecto que a pesar de las ventajas de esta técnica puede limitar su establecimiento en protocolos convencionales de monitoreo del estado de los suelos, en especial los cubanos y los Ferralíticos Rojos, donde no se cuentan con referencias al respecto.

De acuerdo con estos antecedentes el presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la viabilidad de la cromatografía radial como método analítico complementario para el estudio

ments. For these purposes, it is necessary to obtain standard chroma for these soils supported by mathematical models that associate the qualitative information provided by chromas with conventional quantitative variables used in soil monitoring, which would allow the generalization of this technique in diagnosis integrator and preliminary of the state of the same.

MATERIALS AND METHODS

Characterization of the soils under study

Representative soils of the area were taken from the Mayabeque province. They were characterized by their morphological description, according to the latest version of the Cuban soil classification Hernandez et al. (2015), as hydrated Red Ferralitic soils (FRh), which are correlated with the European databases of the World Reference Base (2008) and the North American Soil Taxonomy classification of soils (Soil Survey Staff, 2010) cited by Arteaga *et al.* (2018).

Three soils with different management were used: one with low anthropic activity (conserved) and two with high anthropic activity (with different degrees of degradation and management), according to the categories of degradation due to anthropic action established by Hernandez *et al.* (2014). The management history and the location of the soils are reflected in Table 1, according to references provided by Reyes *et al.* (2014).

sistémico de suelos Ferralíticos Rojos con diferentes manejos. Con estos fines es necesario la obtención de cromas patrones para estos suelos sustentados con los modelos matemáticos que asocien la información cualitativa aportada por las cromas con variables cuantitativas convencionales usadas en el monitoreo de los suelos, lo que permitiría la generalización de esta técnica en el diagnóstico integrador y preliminar del estado de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de los suelos en estudio

Se tomaron suelos representativos de la zona, de la provincia de Mayabeque. Fueron caracterizados por su descripción morfológica, según la última versión de clasificación de los suelos de Cuba Hernández et al. (2015), como suelos Ferralíticos Rojos hidratados (FRh), que se correlacionan con las bases de datos de Europa del World Reference Base (2008) y la clasificación de suelos norteamericana Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010) citado por Arteaga et al. (2018).

Se utilizaron tres suelos con diferentes manejos: uno con baja actividad antrópica (conservado) y dos con alta actividad antrópica (con diferentes grados de degradación y manejo), de acuerdo con las categorías de degradación por la acción antrópica establecidas por Hernández et al. (2014). El historial de manejo y la ubicación de los suelos se reflejan en la Tabla 1, según referencias aportadas por Reyes et al. (2014).

TABLE 1. Management history and location of the hydrated Red Ferralitic soils studied
TABLA 1. Historial del manejo y la ubicación de los suelos Ferralíticos Rojos hidratados estudiados

FRh soils	Management history	Location
FRh (M)	Fruit trees for more than 40 years without human intervention	San Jose de las Lajas
FRh (C)	Sugarcane cultivation for more than 40 years	San Nicolas de Bari
FRh (P)	FRh (P) Potato cultivation for more than 10 years (previously sugarcane)	San Nicolas de Bari

The working procedure followed for the development of the research (analytical and chromatographic analysis), consisted of four fundamental parts: (I) Soil sampling: five samples were collected at each site at five points, at a depth of 0-20 cm, after being identified and separated, they were prepared by being dried in the shade and sieved. To obtain representative samples, they were quartered and homogenized; later the mass (g) was determined. (II) The quantitative characterization carried out in triplicate to the studied indicators, summarized in table 2 (the selection of the quality indicators for soil monitoring was based on those referred to in the specialized literature and the established norms, which are integrated in a methodology to evaluate the quality of Red Ferralitic soils, referred by Arteaga et al. (2016). (III) The qualitative characterization of the soils from the obtaining and interpretation of the chromas of each one and of the humic fractions of These, following the methodology used for chromatography on circular filter paper by Restrepo and Pinheiro (2015), consisting of nine main steps, reflected in Table 3. (IV) Establishment of partial multiple regression relationships between analytical studies and the qualitative.

El procedimiento de trabajo seguido para el desarrollo de la investigación (análisis analítico y cromatográfico), constó de cuatro partes fundamentales: (I) Muestreo de los suelos: se colectaron en cada sitio cinco muestras en cinco puntos, a una profundidad de 0-20 cm, después de identificadas y separadas, se prepararon al ser secadas a la sombra y tamizadas. Para la obtención de muestras representativas se cuartearon y homogenizaron; posteriormente se le determinaron la masa (g). (II) La caracterización cuantitativa realizada por triplicado a los indicadores estudiados, resumidos en la Tabla 2 (la selección de los indicadores de la calidad para el monitoreo de suelos se baso en los referidos en la literatura especializada y las normas establecidas, los cuales se integraron en una metodología para evaluar calidad de suelos Ferralíticos Rojos, referidas por Arteaga *et al.* (2016). (III) La caracterización cualitativa de los suelos a partir de la obtención e interpretación de las cromas de cada uno y de las fracciones húmicas de estos, siguiendo la metodología utilizada para la cromatografía en papel de filtro circular por Restrepo y Pinheiro (2015), constituida por nueve pasos principales, reflejados en la Tabla 3. (IV) Establecimiento de relaciones parciales de regresión múltiple entre los estudios analíticos y el cualitativo.

TABLE 2. Indicators evaluated in the quantitative analyzes of soils
TABLA 2. Indicadores evaluados en los análisis cuantitativos de los suelos

Indicators	Method	Reference
pH at 25 ° C (pH meter PHSJ-3F)	Potentiometric	ISO 10390 (1999)
Electrical conductivity (EC), Total dissolved solids (TDS),% salinity	(DDSJ-308A conductivity meter).	NC: 112 (2001) ISO 7722-04 (1982)
Basal respiration (RB)	CO2 evolution respiration method	ISO 16072 (2002)
Microbial biomass (MB-C)	Fumigation-extraction	Vance <i>et al.</i> (1989)
Metabolic coefficient (qCO2)	Relationship between RB / MBC	Anderson & Domsch (1990)
Determination of humic acids (AH) and fulvic acids (AF)	Wet oxidation (5 mL of soil extract with 10 mL of 1 mol / L K2Cr2O7 and 20 mL of concentrated H2SO4) Walker-Black, 1934.	ISO 10390 (1999) Santos & Camargo (2008)
(Relationship between AH/AF and AH/COS)	Colorimetric (RayLeigh UV 2601) (spectrophotometer at 600 nm)	Walkley & Black (1934) ISO 10390 (1999) Santos & Camargo (2008)

TABLE 3. Methodology used for chromatography on circular filter paper
TABLA 3. Metodología utilizada para la cromatografía en papel de filtro circular

Steps	Description (Restrepo y Pinheiro, 2015)
1	For the preparation of the watman filter paper n0.1, the center of it was drilled with a 2 mm diameter punch, then two holes are made with the tip of a needle, the first to mark the distance from the center to the path of the silver nitrate (AgNO3), the second for the final run. To obtain the wicks, the paper is squared so that there are squares of 2 cm2, which are rolled up to form them.
2	Impregnation or sensitization of the filter paper using AgNO3 at 0.5%, the same operation is carried out until the solution reaches the second mark, the paper is removed and it is allowed to dry horizontally on a blotting paper, immediately they are placed inside a box dark.
3	Preparation of the sample of 5 g of soil with 50 ml of 1% sodium hydroxide (NaOH) to dissolve, subsequently it is stirred circularly until achieving 49 turns and it is left to rest for at least six hours.
4	Sample extraction for analysis: 50 mL of a freshly made 1% NaOH solution are added to 5 g of soil contained in an erlenmeyer flask. They are stirred for 15 minutes, then left to rest for an hour and the stirring operation is repeated until completely resting.
5	Impregnation of the filter paper with the soil solution: let it run up to 6 cm.
6	Identification of the chromatograms
7	Drying or developing the chromatograms: once the paper is dry it is exposed indirectly to sunlight.
8	Preservation of chromatograms when immersed in liquid paraffin (previously heated) to avoid deterioration of the development.
9	Description and interpretation of the chromatograms: it was carried out based on the identification of the areas that compose it, taking into account the number, size or width and shape present in the image; in addition to the regularity or not of the shape, the harmony and integration of the areas, the presence of revealed colors, the formation of rings, clouds, spots, halos, forms of the terminations (edges) of the radiation obtained (Figure 1).

This last aspect was valued with the cost analysis involved in the qualitative technique of chromatography on circular filter paper compared with the quantitative analyzes, taking the prices of available quantitative analyzes for the latter.

Este último aspecto fue valorado con el análisis de costos que interviene en la técnica cualitativa de cromatografía en papel filtro circular comparado con los análisis cuantitativos, tomando para esta última los precios de análisis cuantitativos disponibles.



FIGURE 1. Zones that make up the chromatogram.
 FIGURA 1. Zonas que componen el cromatograma.

To determine the width of the chroma areas and the separation between the radiations, the caliper was used (Figure 1).

A cost study was carried out based on the expenditure from the qualitative analysis with radial chromatography compared to that produced in the quantitative analyzes performed, taking the prices of available quantitative analyzes for the latter (OMA, 2019).

The elaboration of the graphs and tables were carried out with the Microsoft Excel 2010 software of the Windows 10 Operating System. The results of the quantitative analysis were statistically processed with the Statgraphics Package XVII, using simple ANOVA and the Tukey multiple comparison test ($p < 0, 05$). In addition, in the chroma studies, the multiple regression association method and the coefficients of determination were used to descriptively establish the significance of the models; as well as the partial tests of significance of the independent variables.

In the study of the model, the dependent variables are: pH, electrical conductivity, total dissolved solids, salinity, basal respiration, microbial biomass, total organic carbon, relationship between HA / AF and HA / COS; and the independent variables: width of the chroma zones and the separation of the radiations in the same for each study soil. Two models were established for soils: (I) pattern (p) taken from mango. (II) agrogenic (a) of potato and sugarcane. For the latter they presented a coefficient of determination higher than that obtained in the models for potato and cane soils separately.

RESULTS AND DISCUSSION

Quantitative evaluations of physicochemical and biological properties of soils

The values of the physical-chemical properties are reflected in Table 4, these are indicative of a soil with very low anthropic activity for the FRh (M), while the values of the other two soils, FRh (C) and FRh (P), suggest according to their management history that they have been under intensive cultivation for a long time and reflect a tendency to high anthropic activity.

TABLE 4. Physico-chemical properties of Red Ferralitic soils hydrated with FRh potato (P), FRh cane (C) and FRh mango (M)
 TABLA 4. Propiedades físico-químicas de los suelos Ferralíticos Rojos hidratados con papa FRh(P), caña FRh(C) y mango FRh(M)

Soils	pH (H ₂ O)	CE (mScm ⁻¹)	STD (g.L ⁻¹)	Salinity (%)
FRh (M)	6,30a	12,24a	7,34a	0,71a
FRh (C)	8,12b	13,22b	7,53a	0,73a
FRh (P)	8,15b	13,24b	7,54a	0,73a
ES	0.066	0.028	0.025	0.04

Different letters differ significantly from each other, Tukey $p < 0.05\%$

The pH value in the soil FRh (M) is close to the range of neutrality and for soils with high anthropic activity they reflect a basic character. The increases in pH values due to anthropic action are referred to irrigation water and the climatic change that has occurred that brings with it a recalcification of the soil horizons (Hernandez et al., 2014). As a consequence, there is a tendency to increase the properties of

Para la determinación del ancho de las zonas de las cromas y separación entre las radiaciones se utilizó el pie de rey (Figura 1).

Se realizó un estudio de costo a partir del gasto procedente del análisis cualitativo con la cromatografía radial comparado con el producido en los análisis cuantitativos realizados, tomando para esta última los precios de análisis cuantitativos disponibles (OMA, 2019).

La elaboración de los gráficos y tablas se realizaron con el software Microsoft Excel 2010 del Sistema Operativo Windows 10. Los resultados del análisis cuantitativo se procesaron estadísticamente con el Paquete Estadístico Statgraphics XVII, utilizando ANOVA simple y la prueba de comparación múltiple Tukey ($p < 0,05$). Además, en los estudios de las cromas se empleó el método de asociación de regresión múltiple y los coeficientes de determinación para establecer descriptivamente la significación de los modelos; así como las pruebas parciales de significación de las variables independientes.

En el estudio de lo modelo las variables dependientes son: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, salinidad, respiración basal, biomasa microbiana, carbono orgánico total, relación entre los AH /AF y de AH/ COS; y las variables independientes: ancho de las zonas de la cromas y la separación de las radiaciones en la misma para cada suelo de estudio. Se establecieron dos modelos para los suelos: (I) patrón (p) tomado el de mango. (II) agrogénicos (a) de papa y caña. Para esos últimos presentaron un coeficiente de determinación superior que el obtenido en los modelos para los suelos de papa y caña por separado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluaciones cuantitativas de propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos

Los valores de las propiedades físico-químicas son reflejados en la Tabla 4, estos son indicativos de un suelo de muy baja actividad antrópica para el FRh (M), mientras que los valores de los otros dos suelos, FRh (C) y FRh (P), sugieren de acuerdo con su historial de manejo que han estado bajo cultivo intensivo por largo tiempo y reflejan una tendencia a la alta actividad antrópica.

El valor del pH en el suelo FRh (M) es cercano al rango de la neutralidad y para los suelos de alta actividad antrópica reflejan un carácter básico. Los incrementos de los valores del pH por la acción antrópica, son referidos al agua de riego y el cambio climático ocurrido que trae consigo una recalcificación de los horizontes del suelo (Hernández *et al.*, 2014). Como consecuencia se observa una tendencia al incremento de las

electrical conductivity (CE) and total dissolved solids (TDS), without finding significant differences ($p < 0.05$) between their salinity, when comparing these agrogenic soils with the most preserved mango.

These values are within the range established for preserved and degraded Red Ferralitic soils according to (Hernández *et al.*, 2014) and those referred by Reyes *et al.* (2014) in the quantitative study of the properties of these hydrated Red Ferralitic soils.

Table 5 shows the characterization of the organic matter of the evaluated soils, the highest value of total carbon (total C) was recorded in the soil with low anthropic activity of mango FRh (M), in relation to those subjected to cultivation intensive potato and cane. Among the latter, significant differences were found ($p < 0.05$), the value of the FRh (C) being more than doubled in relation to that found in the soil FR (P); where it can be seen that there has been a significant reduction in carbon retention, which suggests a greater anthropic activity with potato cultivation. These results correspond to what was expressed by (Hernández *et al.*, 2014), regarding the loss of carbon content in soils with great anthropic activity and with those obtained for these soils by Reyes *et al.* (2014).

propiedades de conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT), sin encontrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la salinidad de los mismos, al comparar estos suelos agrogénicos con el más conservado de mango.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido para suelos Ferralíticos Rojos conservados y degradados según (Hernández *et al.*, 2014) y los referidos por Reyes *et al.* (2014) en el estudio cuantitativo de las propiedades de estos suelos Ferralíticos Rojos hidratados.

En la Tabla 5 se muestra la caracterización de la materia orgánica de los suelos evaluados, el mayor valor del carbono total (C total) se registró en el suelo con baja actividad antrópica de mango FRh (M), con relación a los sometidos a cultivo intensivo de papa y caña. Entre estos últimos, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo superado en más del doble el valor del FRh (C) con relación al encontrado en el suelo FR(P); donde se aprecia que se ha producido una reducción significativa en la retención del carbono, lo que sugiere una mayor actividad antrópica con el cultivo de la papa. Estos resultados se corresponden con lo expresado por (Hernández *et al.*, 2014), en cuanto a la pérdida del contenido de carbono en los suelos con gran actividad antrópica y con los obtenidos para estos suelos por Reyes *et al.* (2014).

TABLE 5. Properties of the organic matter of the evaluated soils
TABLA 5. Propiedades de la materia orgánica de los suelos evaluados

Soils	C (g C ^{total} kg ⁻¹)	C/N	COS (g C kg ⁻¹)	C (AH/AF)	C (AH/COS)
FRh (M)	74,37a	7,34 a	24,54 a	1,22 a	0,55 a
FRh (C)	68,50 b	6,76 b	9,48 b	0,91 b	0,48 b
FRh (P)	24,52 c	2,42 c	3,43 c	0,17 c	0,15 c
Es	5,971	0,589	2,375	0,117	0,046

Different letters differ significantly from each other, Tukey $p < 0.05\%$

Regarding soluble organic carbon (SOC), higher values are also observed with significant differences between the FRh (M) management with respect to the rest of the agrogenic soils, suggesting losses of carbon reserves. Which can be found between 30% and 75%, as indicated by (Hernández *et al.*, 2014) for FR soils as a result of intensive agricultural exploitation. These authors state that in Cuba SOC losses in Ferralitic soils have been high in the surface horizons (0-20 cm), due to intensive use with crops with few roots such as sugarcane and potatoes.

Regarding the AH / AF and AH COS ratio shown in Table 5, it is observed that the soil FRh (M) presented the highest values, differing significantly from FRh (C) and FRh (P), the decrease in the latter. These indices suggest the decrease in the quality of the organic matter present in the soil mango > cane > potato (Santos & Camargo, 2008). Similar patterns show the values of the C / N ratio, indicating a loss in stability in these soils, fundamentally for the soil with potato.

The biological properties evaluated in the soils (Table 6) confirm the previous results, the basal respiration evaluated in these soils differ significantly between mango and sugarcane and potato; the microbial biomass marks more the differences between these soils, even between

En cuanto al carbono orgánico soluble (COS) también se observan valores superiores con diferencias significativas entre el manejo FRh (M) con respecto al resto de los suelos agrogénicos, sugiriendo pérdidas de las reservas de carbono. La cuales pueden encontrarse entre un 30% y un 75%, según lo indicado por (Hernández *et al.*, 2014) para suelos FR como resultado de la explotación agrícola intensiva. Estos autores plantean que en Cuba las pérdidas de COS en los suelos Ferralíticos han sido elevadas en los horizontes superficiales (0-20 cm), debido al uso intensivo con cultivos de pocas raíces como la caña y la papa.

Con respecto a la relación AH/AF y AH COS mostradas en la Tabla 5, se observa que el suelo FRh (M) presentó los mayores valores, diferenciándose significativamente del FRh (C) y FRh (P), siendo más significativa la disminución en este último. Estos índices sugieren la disminución en la calidad de la materia orgánica presente en el suelo mango > caña > papa (Santos & Camargo, 2008). Semejantes patrones muestran los valores de la relación C/N, indicando en estos suelos una pérdida en la estabilidad, fundamentalmente para el suelo con papa.

Las propiedades biológicas evaluadas en los suelos (Tabla 6) confirman los resultados anteriores, la respiración basal evaluada en estos suelos se diferencian significativamente entre el mango y la caña y papa; la biomasa microbiana marca más las diferen-

the agrogenic ones, where a marked loss of the present microbial biomass is observed.

cias entre estos suelos, incluso entre los agrogénicos, donde se observa una marcada pérdida de la biomasa microbiana presente.

TABLE 6. Biological properties of the evaluated soils
TABLA 6. Propiedades biológicas de los suelos evaluados

Soils	CR (mgCO ₂ ·kg ⁻¹ ·h ⁻¹)	BM (mg·kg ⁻¹)	qCO ₂ (h ⁻¹)
FRh (M)	186,38 a	35,55 a	0,0052 c
FRh (C)	160,34 b	6,56 b	0,0244 b
FRh (P)	174,42 b	2,81 b	0,0620 a
Es	4,899	3,961	0,006

Different letters differ significantly from each other, Tukey p< 0.05%.

Even more significant, the differences between soils are presented in the metabolic coefficient, it tends to be higher in soils FRh (C) and FRh (P) with respect to FRh (M), indicating a tendency to increase carbon expenditure in the respiration per unit of microbial biomass for the most degraded, due to a higher activity product of the mineralization process, which suggests a microbial stress as a consequence of soil management (Santiago et al., 2018), being referred to as a sensitive indicator to the changes produced during intensive cultivation, being very useful to estimate the early edaphic quality of a soil (Arteaga et al., 2018).

Más significativas aun las diferencias entre los suelos se presentan en el coeficiente metabólico, tiende a ser mayor en los suelos FRh (C) y FRh (P) con respecto al FRh (M), indica una tendencia al incremento del gasto de carbono en la respiración por unidad de biomasa microbiana para los más degradados, debido a una mayor actividad producto del proceso de mineralización, lo que sugiere un estrés microbiano como consecuencia del manejo del suelo (Santiago *et al.*, 2018), al ser referido como un indicador sensible a los cambios producidos durante el cultivo intensivo, siendo de gran utilidad para estimar la calidad edáfica temprana de un suelo (Arteaga *et al.*, 2018).

Qualitative characterization of the soils under study

When observing the representative images of each FRh soil under different management (Figure 2), it is possible to appreciate the marked differences between them, mainly between the soil with low anthropic activity, FRh (M), with those with high anthropic activity: FRh (C) and FRh (P), and even between the latter with each other.

Caracterización cualitativa de los suelos en estudio

Al observar las imágenes representativas de cada suelo FRh bajo distintos manejos (Figura 2), es posible apreciar las marcadas diferencias entre estos, principalmente entre el suelo de baja actividad antrópica, FRh (M), con los de alta actividad antrópica: FRh (C) y FRh (P), e inclusive entre estos últimos entre sí.

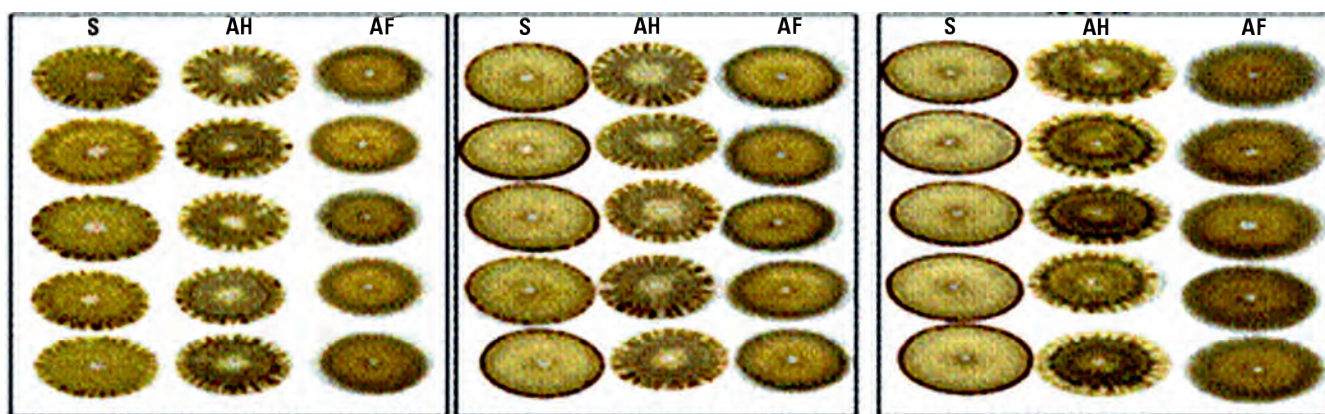


FIGURE 2. Chroma images for all the replicas made of the hydrated Red Ferralitic soils with different handling in the order of mango FR (M) - cane FR (C) - potato FR (P) and their humic fractions.

FIGURA 2. Imágenes de los cromas para todas las réplicas realizadas de los suelos Ferralíticos Rojos hidratados con diferentes manejos en el orden mango FR(M) - caña FR(C)-papa FR(P) y de sus fracciones húmicas.

The analysis of the chroma images can be synthesized in the following elements:

(I) The chroma for the mango soil (Figure 3), is interpreted as having a good, non-compacted structure, valued in the central Z. (ZC) with a creamy color that fades to be integrated into the next area and the rest with each other (ZC, ZM, ZP, ZE); the

El análisis de las imágenes de las cromas se puede sintetizar en los siguientes elementos:

(I) La croma para el suelo mango (Figura 3), se interpreta como con buena estructura no compactado, valorado en la Z. central (ZC) con un color cremoso que se desvanece para integrarse a la siguiente zona y el resto entre sí (ZC, ZM, ZP, ZE),

intermediate zone (ZM) is seen with a light brown collation combined with the following zone of organic or protein matter (ZP), which indicates the mineral diversity associated with organic matter with a good presence and available for plants and integrated. Due to the microbiological activity, it is manifested with golden colorations. The radiations and undulations in the enzymatic Z. reveal a good enzymatic and protein activity, according to what was proposed as desired for soils that have not undergone drastic changes in their composition (Restrepo and Pinheiro, 2015), which corresponds to the history of management of this soil with more than 40 years without anthropic intervention with the presence of fruit trees in addition to the results of the physicochemical and biological properties previously analyzed (Tables 4, 5 and 6).

(II) In the chroma for sugarcane and potato soils (Figure 3), they suggest that they have been treated with high doses of fertilizers and mechanization, the ZC are wider and white in color that is integrated into the next zone of homogeneously, which indicates the lack of structure and the effect of the use of a large amount of chemicals in the soil, mainly, although there may have also been application of manure; inputs that have been applied in high doses established in the fertilization package for potato production in Cuba (Minag-Cuba, 2016).

ZE); la zona intermedia (ZM) se aprecia con una colación café claro combinada con las siguiente zona de la materia orgánica o proteica (ZP), lo cual indica la diversidad mineral asociada a la materia orgánica con una buena presencia y disponibles para las plantas e integrados por la actividad microbiológica, se manifiesta con coloraciones doradas. Las radiaciones y ondulaciones en la Z. enzimática revelan una buena actividad enzimática y proteica, de acuerdo a lo planteado como deseada para suelos que no han sufridos cambios drásticos en su composición (Restrepo y Pinheiro, 2015), lo que se corresponde con el historial de manejo de este suelo con más de 40 años sin intervención antrópica con la presencia de Frutales además con los resultados de la propiedades físico - químicas y biológicas antes analizadas (Tablas 4, 5 y 6).

(II) En la croma para los suelos de caña y papa (Figura 3), sugieren que han sido tratados con altas dosis de fertilizantes y de mecanización, las ZC se presentan más amplia y de color blanco que se integra a la próxima zona de manera homogénea, lo cual indica la falta de estructura y el efecto del uso de gran cantidad de químicos en el suelo, fundamentalmente, aunque pudiera haber existido también aplicación de estiércol; insumos que se han aplicado en altas dosis establecidas en el paquete de fertilización para la producción de papa en Cuba (Minag-Cuba, 2016).

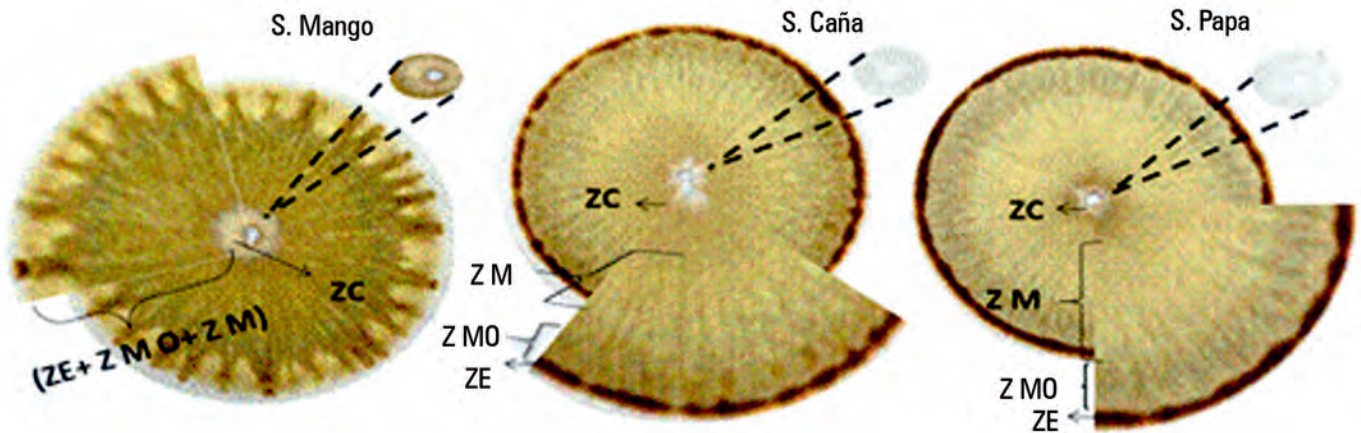


FIGURE 3. Analysis of the central and internal zones in the chromatographic images of the FRh soils of mango (M), cane (C), potato (P).
 FIGURA 3. Análisis de las zonas central e interna en las imágenes cromatográficas de los suelos FRh de mango (M), caña (C), papa (P).

The mineral zone (ZM), in the cane soil begins to be defined and less integrated with a darker coloration that intensifies in the potato soil, as well as its broader amplitude (even less integrated), with smooth, defined terminations and not formed (Figure 3). In the chromas of these soils, a mineral zone that is blocked is interpreted, evidencing the null interaction with the organic matter zone, indicating the absence of transformation of the minerals (Restrepo and Pinheiro, 2015).

The zone of organic or protein matter (ZP) that represents organic matter (Figure 3), reveals the balance that exists between the mineralization and humification processes, shows the ideal presence in the mangal, however, for the soil of cane results in a slightly dark coloration, which suggests the existence of a slow decomposition process, where mineralization begins to prevail. The total C contents and the humified C / SOC ratio support this information obtained, such as where soil degradation

La zona mineral (ZM), en el suelo de caña comienza a definirse y ser menos integrada con una coloración más oscura que se intensifica en el suelo de papa, así como su amplitud más amplia (menos integrada aún), con terminaciones lisas, definida y no formada (Figura 3). En las cromas de estos suelos se interpreta una zona mineral que se encuentra bloqueada, evidenciando la nula interacción con la zona de materia orgánica, indicando la ausencia de transformación de los minerales (Restrepo y Pinheiro, 2015).

La zona de la materia orgánica o proteica (ZP) que representa la materia orgánica (Figura 3), revela el equilibrio que existe entre los procesos de mineralización y de humificación, muestra la presencia ideal en el mangal, sin embargo, para el suelo de caña resulta en una coloración un poco oscura, lo que sugiere la existencia de un proceso lento de descomposición, donde comienza a prevalecer la mineralización. Los contenidos de C total y relación de C humificado/ COS apoya esta infor-

corresponds to carbon losses because mineralization prevails over humification, which decreases according to Santiago *et al.* (2018), in the mango-cane-potato sense.

(III) The analysis of the quality of the soil organic matter, from the chromas made to the humified fractions (humic acids AH and fulvic acids AF), is clearly reflected in the chroma images (Figure 4), it corresponds with the values obtained in the relation of the C of the HA and the COS, evidenced by the higher values for the mango, where said chroma reflects a greater stability in the humified fractions. In the case of agrogenic soils, it is shown to be more blocked, fundamentally for potatoes, reflected with the dark brown halo present in the potato chroma.

(IV) The ZE enzymatic zone (Figure 3 and 4), shows the humification processes and the presence of nutrients assimilated by the plants in the mangal, the shape of the toothed terminations and the shadows between them show the high availability of these and the very dark brown color also indicates humification processes. For sugarcane and potato soils, it lacks shape with the absence of terminations, which suggests slow humification processes, which may be scarce, surpassed by the mineralization process, which shows limited biological activity.

mación obtenida, como donde la degradación de los suelos se corresponde con las pérdidas de carbono porque prevalece la mineralización sobre el de humificación que disminuye según Santiago *et al.* (2018), en el sentido mango-caña-papa.

(III) El análisis de la calidad de la materia orgánica del suelo, a partir de las cromas realizadas a las fracciones humificadas (ácidos húmicos AH y fúlvicos AF), se refleja claramente en las imágenes de los cromas (Figura 4), se corresponde con los valores obtenidos en la relación del C de lo AH y el COS, evidenciado con los mayores valores para el mango, donde dicha cromas refleja una mayor estabilidad en las fracciones humificadas. Para el caso de los suelos agrogénicos se muestra más bloqueada fundamentalmente para la papa, reflejado con el halo carmelita oscuro presente en la cromas de papa.

(IV) La Zona enzimática ZE (Figura 3 y 4), evidencia los procesos de humificación y la presencia de nutrientes asimilables por las plantas en el mangal, la forma de las terminaciones dentadas y las sombras entre ellas muestran la alta disponibilidad de estos y la coloración carmelita muy oscuro indica además procesos de humificación. Para los suelos de caña y papa carece de forma con ausencia de terminaciones, lo que sugieren procesos de humificación lentos pudiendo llegar a ser escasos superado por el proceso de mineralización, lo cual evidencia una actividad biológica limitada.

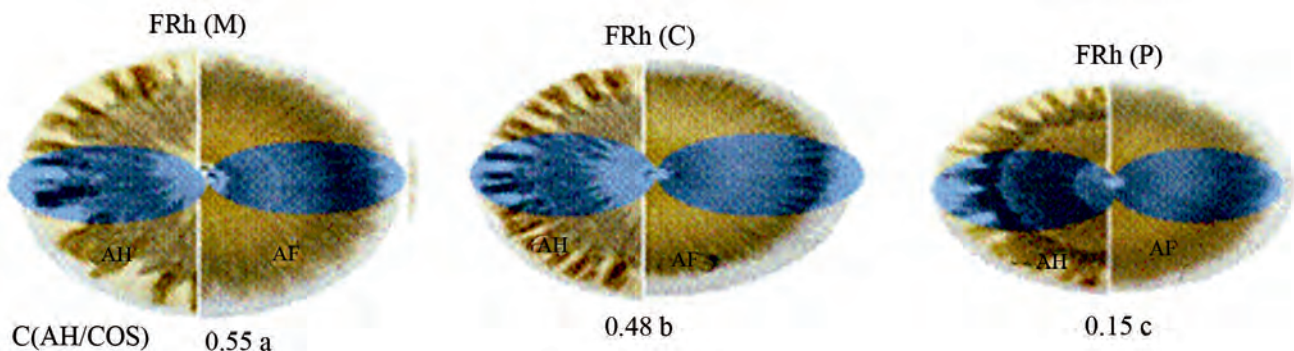


FIGURE 4. Chromatographic images of the humic (HA) and fulvic (AF) fractions of the FRh soils of mango (M), cane (C), potato (P).
FIGURA 4. Imágenes cromatográficas de las fracciones húmicas (AH) y fúlvicas (AF) de los suelos FRh de mango (M), caña (C), papa (P).

(V) This can be complemented by analyzing the radiographic contrast shown in Figure 4, with respect to the mangal floor. In this, the radial formation starts from the center towards the external zones (Figure 3 and 4), it is shown branched in the form of pens; This reveals the diversity of nutrients and active microbiology present in the soil for mango, the lumpy textures are a symptom of organic aggregates and abundant flocculation, which is desirable for a soil of adequate quality (Medina *et al.*, 2018). However, the cane and potato chromatograms do not present a radial formation, like the mangal, which shows the lack of total equilibrium in these soils due to their management. The characteristics of the cane and potato chromatograms correspond to soils destroyed by highly soluble fertilizers of synthetic origin, according to Restrepo and Pinheiro (2015) and this is indicated by the quantitative analysis carried out on these soils, shown in tables 4, 5 and 6.

The evaluation of the physical-chemical and biological properties in the hydrated Red Ferralitic soils showed

(V) Esto se puede complementar al analizar el contraste radiográfico que se muestra en la Figura 4, con respecto al suelo del mangal. En este la formación radial parte desde el centro hacia las zonas externas (Figura 3 y 4), se muestra ramificada en forma de plumillas; esto revela la diversidad de nutrientes y de microbiología activa presente en el suelo para el mango, las texturas grumosas son síntoma de agregados orgánicos y floculación abundante, lo cual es deseable para un suelo de calidad adecuada (Medina *et al.*, 2018). Sin embargo, los cromatogramas de caña y papa no presentan una formación radial, como el mangal, lo que evidencia la falta de equilibrio total en estos suelos debido a su manejo. Las características de los cromatogramas de caña y papa se corresponden a suelos destruidos por fertilizantes altamente solubles de origen sintéticos, según Restrepo y Pinheiro (2015) y así lo indican el análisis cuantitativo realizado a estos suelos, expuestos en las tablas 4, 5 y 6.

La evaluación de las propiedades físico-químicas y biológicas en los suelos Ferralíticos Rojos hidratados mostró dife-

notable differences between the management received, conservation and high anthropic activity, where between these two sugarcane (C) and potato (P) soils differences are observed. significant among them, being more significant the degradation for the potato soil that was clearly evidenced in modifications reflected in the images of the chromas, indicating the selectivity, specificity of this method to evaluate in a previous and integrated way the state of the soils at level of organic matter, minerals and their microbiology, providing integrative information.

Models to predict quantitative variables of the state of agricultural soils

The most significant models from the descriptive point of view were selected, from the determination coefficients R², in them the most significant variables in each model obtained from the partial analysis of the independent variables stand out, being generally the zones central (ZC), enzymatic (ZE) and organic or protein matter (ZP) which contribute the most to the variables dependent on the quantitative indicators analyzed.

REGRESSION MODELS (SIG: 0.0000 ***) (EST: 95%)

p: standard soil (FRh Mango) a: Agrogenic soils (FRh cane and potato)

Ind. Quantitative: STD: total dissolved solids, C: carbon, HA: humic acids, AF: fulvic acids. COS: soil organic carbon. OM: organic matter. CE: electrical conductivity. TOC: total organic carbon. BM: microbial biomass. Basal soil respiration (CR). Metabolic coefficient (qCO₂).

Ind. Qualitative: WIDTH OF THE CHROME AREA AND SEPARATION BETWEEN THE RADIATIONS

Zona

(Z) Central (ZC) Mineral (ZM)Materia Orgánica o Proteica (ZP)Enzimática (ZE)Separación entre las radiaciones (SRa)

Combinación de las Z. mineral proteica (ZM + ZP)

Modelos:

$$Y_p (pH H_2O) = 7.03709 + 0.5081 * ZC + 0.0561 * (ZM + ZP) + 0.0936 * ZE + 0.2733 * SRa \text{ (Es: 0.1738. R}^2\text{: 92,0001\%)}$$

$$Y_a (pH H_2O) = 7.1852 + 0.1944 * ZC + 0.0799 * ZM + 0.0216 * ZP + 0.1144 * ZE + 0.0522 * SRa \text{ (Es: 0,025. R}^2\text{: 91,3419\%)}$$

Prediction:

For each unit of increase of the Central Z., Mineral Z. with the MO or protein Z., Enzymatic Z. and in the separation of the Radiations, the pH value increases by 0.5081, 0.0561, 0.034927, 0.0936, 0.2733 units. in H₂O respectively.

For each unit of increase of the Z. Central, Z. Mineral, Z. MO or protein, Z. Enzymatic and in the separation of Radiations increases by 0.1944, 0.0799, 0.0216, 0, 1144, 0.0522 units the pH value in H₂O respectively.

Modelos:

$$Y_p (CE) = 12.555 + 0.2227 * ZC + 0.0878 * (ZM + ZP) + 0.0532 * ZE + 0.1852 * SRa \text{ (Es: 0.1261. R}^2\text{: 93,50\%)}$$

$$Y_a (CE) = 12.945 + 0.1998 * ZC + 0.2168 * ZM + 0.8796 * ZP + 0.1213 * ZE + 0.2222 * SRa \text{ (Es: 0.1011. R}^2\text{: 96,35\%)}$$

rencias notables entre los manejos recibidos, de conservación y con alta actividad antrópica, donde entre estos dos suelo de caña (C) y papa (P) se observan diferencias significativas entre ellos, siendo más significativa la degradación para el suelo de papa que se evidenciaron claramente en modificaciones reflejadas en las imágenes de las cromas, indicando la selectividad, especificidad de este método para evaluar de manera previa e integrada el estado de los suelos a nivel de la materia orgánica, los minerales y su microbiología, aportando información integradora.

Modelos para predecir variables cuantitativas del estado de los suelos agrícolas

Se seleccionaron los modelos más significativos desde el punto de vista descriptivo, a partir de los coeficientes de determinación R², en ellos se destacan las variables más significativas en cada modelo obtenido a partir del análisis parcial de las variables independientes, siendo de manera general las zonas centrales (ZC), la enzimática (ZE) y la de la materia orgánica o proteica (ZP) las que más aportan a las variables dependientes de los indicadores cuantitativos analizados.

MODELOS DE REGRESIÓN (SIG: 0.0000 ***) (EST: 95%)

p: suelo patrón (FRh Mango) a: Suelos agrogénicos (FRh caña y papa)

Ind. Cuantitativos: STD: sólidos disueltos totales, C: carbono, AH: ácidos húmicos, AF: ácidos fúlvicos. COS: carbono orgánico suelo. MO: materia orgánica. CE: conductividad eléctrica. COT: carbono orgánico total. BM: biomasa microbiana. Respiración basal del suelo (CR). Coeficiente metabólico (qCO₂).

Ind. Cualitativos: ANCHO DE LAS ZONA DE LAS CROMAS Y SEPARACIÓN ENTRE LAS RADIACIONES
Zona

(Z) Central (ZC) Mineral (ZM) Materia Orgánica o Proteica (ZP) Enzimática (ZE) Separación entre las radiaciones (SRa)

Combinación de las Z. mineral y proteica (ZM + ZP)

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral con la Z. MO o proteica, Z. Enzimática y en la separación de las Radiaciones aumenta en 0.5081, 0.0561, 0,034927, 0.0936, 0.2733 unidades el valor de pH en H₂O respectivamente.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral, Z. MO o proteica, Z. Enzimática y en la separación de las Radiaciones aumenta en 0,1944, 0,0799, 0,0216, 0, 1144, 0,0522 unidades el valor de pH en H₂O respectivamente.

Modelos:

Prediction:

For each unit of increase of the Central Z., Mineral Z. with the MO or protein Z., Enzymatic Z. and in the separation of the Radiations, the value of the CE increases by 0.2227, 0.0878, 0.0532, 0.1852 units respectively.

For each unit of increase of the Z. Central, Z. Mineral, the Z. MO or protein, Z. Enzymatic and in the separation of the Radiations increases in 1998, 0.2168, 0.8796, 0.1213, 0.2222 units the value of the CE respectively.

Models:

$$Y_p (COT) = 12.9446 + 2.7193 *ZC - 2.2012 (ZM + ZP) + 0,02567*ZE - 0.8968 *SRa \text{ (Es: } 0,0 \text{ } 07 \text{ R}^2\text{: } 94,7414\%)$$

$$Y_a (COT) = 0,0213 - 0,0048*ZC + 0,0022*ZM + 0,0014*ZP + 0,0021*ZE + 0,0010*SRa \text{ (Es: } 0,001. \text{ R}^2\text{: } 92,7967\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in the Central Z. the TOC value increases by 2.7193 U and in the mineral Z. with protein, and between radiations it decreases by 2.2012 and 0.8968 units respectively.

For each unit of increase of the Central Z., Mineral Z. with the Z. MO or protein, Z. Enzymatic and with the separation of the Radiations increases by 0.0048, 0.0022, 0, 0.0014, 0, 0021, 0.0010 units the TOC value respectively.

Models:

$$Y_p (C/N) = 14.9136 + 2.1392 *ZC - 2.5522 *(ZM+ ZP) + 0,6789 *ZE - 1.4837 SRa \text{ (Es: } 0,059. \text{ R}^2\text{: } 85,25\%)$$

$$Y_a (C/N) = 11,7385 - 0,0523*ZC - 0,0134*ZM - 0,0241*ZP - 0,0433*ZE + 0,0131*SRa \text{ (Es: } 0,009. \text{ R}^2\text{: } 93,2713\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in the Central Z. the value of the C / N ratio increases by 2.1392 U and in the mineral Z. with Protein and between radiations they decrease by 2.5522 and 1.4837 units respectively.

For each unit of increase of the Z. Central, Z. Mineral, Z. MO or protein and Z. Enzymatic decreases by 0.0523, 0.0134, 0, 0.0214, 0.0433 units the COT value respectively and increases by 0.0131 u with the separation of the Radiations.

Models:

$$Y_p (AH) = 2,5220 + 5,9295*ZC - 1,01196*(ZM + ZP) + 1,0222*ZE + 1,4960*SRa \text{ (Es: } 0,9360. \text{ R}^2\text{: } 88,63\%)$$

$$Y_a (AH) = 1,1213 + 3,8997*ZC + 2,3456*ZM + 0,8956 *ZP + 0,0213*ZE + 0,5454*SRa \text{ (Es: } 0,8123. \text{ R}^2\text{: } 75,56\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in the Z. Central, Z. Enzymatic and in the separation of radiation, the value of Humic Acids increases by 5.9295, 1.0222 and 1.4960 units respectively and in the mineral Z. with protein decreases by 1.01196 U.

For each unit of increase in the Z. Central, Z. mineral, Z. protein, Z. Enzymatic and in the separation of radiation, the value increases by 3.8897, 2.3456, 0.0213, 0.5454 units. of Humic Acids respectively.

Models:

$$Y_p (AH+AF) = 13.2709 + 7.3643*ZC - 2.9801*ZM + 0.2438 *ZP + 1.1708 *ZE + 0.3729*SRa. \text{ (Es: } 1.1859. \text{ R}^2\text{: } 91,86 \%)$$

$$Y_a (AH+AF) = 10.1987 + 5.8900*ZC - 4.5432*ZM + 0.5673 *ZP + 0.5667*ZE + 0.2138*SRa. \text{ (Es: } 0,9998. \text{ R}^2\text{: } 90,79 \%)$$

Predicción:

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral con la Z. MO o proteica, Z. Enzimática y en la separación de las Radiaciones aumenta en 0.2227, 0.0878, 0.0532, 0.1852 unidades el valor de la CE respectivamente.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral, la Z. MO o proteica, Z. Enzimática y en la separación de las Radiaciones aumenta en 1998, 0.2168, 0.8796, 0.1213, 0.2222 unidades el valor de la CE respectivamente.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de la Z. Central aumenta en 2.7193 U el valor del COT y en las Z. mineral con la proteica y entre radiaciones disminuye en 2.2012 y 0.8968 unidades respectivamente.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral con la Z. MO o proteica, Z. Enzimática y con la separación de las Radiaciones aumenta en 0,0048, 0,0022, 0, 0,0014, 0,0021, 0,0010 unidades el valor de COT respectivamente.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de la Z. Central aumenta en 2.1392 U el valor de la relación C/N y en las Z. mineral con la Proteica y entre radiaciones disminuyen en 2.5522 y 1.4837 unidades respectivamente.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral, de la Z. MO o proteica y Z. Enzimática disminuye en 0,0523, 0,0134, 0, 0,0214, 0,0433 unidades el valor de COT respectivamente y aumenta en 0,0131 u con la separación de las Radiaciones.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Enzimática y en la separación de las radiaciones, aumenta en 5.9295, 1.0222 y 1.4960 unidades el valor de los Ácidos Húmicos respectivamente y en la Z. mineral con la proteica disminuye en 1.01196 U.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. mineral, Z. proteica, Z. Enzimática y en la separación de las radiaciones, aumenta en 3,8897, 2,3456, 0,0213, 0,5454 unidades el valor de los Ácidos Húmicos respectivamente.

Modelos:

Prediction:

For each unit of increase of the Z. Central, Z. Protein, Z. Enzymatic and the separation between the Radiations increases in 7.3643, 0.2438, 1.1708, 0.3729 units the value of AH + AF and in the Z. mineral decreases in 2.9801 units respectively.

For each unit of increase in the Z. Central, Z. Proteic, Z. Enzymatic and the separation between the Radiations increases by 5.8900, 0.5673, 0.5667, 0.2138 units the value of AH + AF and in the mineral Z. decreases by 4.5432 units respectively

Models:

$$Y_p (BM) = 25.799 + 32.2203 * ZC - 8.6344 * ZM + 5.8494 * ZE + 4.5610 * SRa \text{ (Es: 0.4942. } R^2: 90,16\%)$$

$$Y_a (BM) = 20,212 + 23.4335 * ZC + 6,8901 * ZM + 4,9980 * ZE + 3,1278 * SRa \text{ (Es: 0.6235. } R^2: 87,69\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in the Z. Central, Z. Mineral, Z. Enzymatic and in the separation of radiation, the microbial biomass increases by 32.2203, 5.8494 and 4.5610 U respectively and in the Z. Mineral decreases 8.6344 U.

For each unit of increase of the Z. Central, Z. Enzymatic and in the separation of the radiations increases in 23.4335, 6.8901, 4.9980, 3.1278 U the microbial biomass respectively.

Models:

$$Y_p (CR) = 213.01 - 12.6022 * ZM - 4.8595 * ZE + 14.2398 * SRa \text{ (Es: 16.4602. } R^2: 24,75\%)$$

$$Y_a (CR) = 11,54 - 69,7890 * ZM - 10,3456 * ZE + 12,8907 * SRa \text{ (Es: 10,6783. } R^2: 19,67\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in Mineral Z. and Enzymatic Z. the value of basal respiration decreases by 12.6022 and 4.8595 U, respectively, for each unit of increase in the separation between Radiations, CR increases by 14.2398 U.

For each unit of increase in Mineral Z. and Enzymatic Z. the value of basal respiration decreases by 69.7890 and 10.3456 U, respectively, for each unit of increase between Radiations, CR increases by 12.8907 U.

Models:

$$Y_p (qCO_2) = -0.0685 - 0.0172 * ZC + 0.0293 * ZM - 0.0018 * ZE + 0.0028 * SRa \text{ (Es: 0.0140. } R^2: 91,69\%)$$

$$Y_a (qCO_2) = -1,1230 - 1,2390 * ZC + 1,1225 * ZM - 1,8790 * ZE + 1,1213 * SRa \text{ (Es: 0.0056. } R^2: 97,89\%)$$

Prediction:

For each unit of increase in Mineral Z. and radiation separation, the Metabolic Coefficient increases by 0.0293 and 0.0028 U respectively, for each unit of increase in Central Z. and Enzymatic Z. decreases 0.0172 and 0.0018 U.

For each unit of increase in Mineral Z. and radiation separation, the Metabolic Coefficient increases by 1.1225 and 1.1213 U, respectively, for each unit of increase in Central Z. and Enzymatic Z. 1.2390 decreases. and 1.8790 U.

With the proposed regression models it is possible to predict from the dependent variable chromas such as pH, total organic C content, C / N ratio, CE, humified soil fractions through the indicators: AH, AH + AF and soil biological activity such as microbial biomass and metabolic coefficient, which will support the interpretation of the results and introduce this method in the systemic analysis for soil quality monitoring.

Predicción:

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Proteica, Z. Enzimática y la separación entre las Radiaciones aumenta en 7.3643, 0.2438, 1.1708, 0.3729 unidades el valor de AH+AF y en la Z. mineral disminuye en 2.9801 unidades respectivamente.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Proteica, Z. Enzimática y la separación entre las Radiaciones aumenta en 5.8900, 0.5673, 0.5667, 0.2138 unidades el valor de AH+AF y en la Z. mineral disminuye en 4.5432 unidades respectivamente.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Mineral, Z. Enzimática y en la separación de las radiaciones aumenta en 32.2203, 5.8494 y 4.5610 U la biomasa microbiana respectivamente y en la Z. Mineral disminuye 8.6344 U.

Por cada unidad de incremento de las Z. Central, Z. Enzimática y en la separación de las radiaciones aumenta en 23.4335, 6.8901, 4.9980, 3.1278 U la biomasa microbiana respectivamente.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de la Z. Mineral y la Z. Enzimática disminuye en 12.6022 y 4.8595 U el valor de la respiración basal respectivamente, por cada unidad de incremento de la separación entre Radiaciones aumenta 14.2398 U la CR.

Por cada unidad de incremento de la Z. Mineral y la Z. Enzimática disminuye en 69,7890 y 10,3456 U el valor de la respiración basal respectivamente, por cada unidad de incremento entre Radiaciones aumenta 12,8907 U la CR.

Modelos:

Predicción:

Por cada unidad de incremento de la Z. Mineral y la separación de las radiaciones se incrementa en 0.0293 y 0.0028 U el Coeficiente Metabólico respectivamente, por cada unidad de incremento en la Z. Central y la Z. Enzimática disminuye 0.0172 y 0.0018 U.

Por cada unidad de incremento de la Z. Mineral y la separación de las radiaciones se incrementa en 1,1225 y 1,1213 U el Coeficiente Metabólico respectivamente, por cada unidad de incremento en la Z. Central y la Z. Enzimática disminuye 1,2390 y 1,8790 U.

Con los modelos de regresión propuestos es posible predecir a partir de las cromas variables dependientes como el pH, el contenido de C orgánico total, relación C/N, CE, las fracciones humificadas del suelo a través de los indicadores: AH, AH+AF y de la actividad biológica del suelo como la biomasa microbiana y coeficiente metabólico, lo que permitirá sustentar la interpretación de los resultados e introducir este método en el

With the application of radial chromatography, standard chromatograms were obtained with the respective multiple regression models that may be useful in future studies of hydrated Red Ferralitic soils with different managements to predict the essential physical-chemical and biological properties to be evaluated and thus suggest the procedure to follow to carry it out analytically. This can make systemic monitoring of them more viable due to the decrease in the complexity of the methodology followed for its realization with time savings and in the economy of the process.

This last aspect was evaluated through the cost analysis involved in the qualitative technique of chromatography on circular filter paper compared to quantitative analyzes. The economic valuation was made from the average cost of five replicates of chromatographic analysis on circular filter paper is \$ 23.40 USD, with which the analysis of 13 variables can be performed (\$ 1.98 per variable). In contrast, quantitative analyzes are quoted in a range of \$ 95.00, cost \$ 7.31 / variable. This demonstrates the feasibility of the method not only because of its simplicity, which allows it to be applied in studies “in situ” in production systems, but also because of the low economic costs involved with its use.

From these results a work protocol is derived for the systemic monitoring of soils with different management during their exploitation by introducing radial chromatography to it, which would contribute to maintaining the sustainability of this important natural resource during its use.

CONCLUSIONS

- Radial chromatography turned out to be a fast, functional, integrative and economical method that allows it to be adapted to the existing conditions in situ to predict indicators that lead to complement the quantitative study of Red Ferralitic soils with different managements, making systemic monitoring more viable for diagnose its quality in making adequate agricultural decisions; which would lead to establish an autonomous management of soil knowledge during its management, contributing to its sustainability.

REFERENCES

- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H.: “Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories”, *Soil Biol. Biochem.*, 5298: 251-255, 1990, ISSN: 0038-0717.
- ARTEAGA, B.M.; GARCÉS, P.N.; PINO, R.J.A.; OTAÑO, C.L.; VEUBIDES, A.H.: “Extracto de vermicompost Liplant una alternativa para el desarrollo de la agricultura de conservación”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(3): 31-41, 2018, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- ARTEAGA, M.; GARCÉS, N.; NOVO, R.; GURIDI, F.; PINO, J.; ACOSTA, M.; PASOS, M.; BESÚ, D.: “Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo: influence of LIPLANT bioestimulant systematic application on some soil biological indicators”, *Revista de Protección Vegetal*, 22(2): 110-117, 2007, ISSN: 1010-2752.
- CÁNEPA, R.Y.; TRÉMOLS, G.J.; HERNÁNDEZ, J.A.: “La degradación química de los suelos Ferralíticos Rojos de la empresa tabacalera «Lázaro Peña”, *Rev. Cuba Tabaco*, 13(1): 69-73, 2012, ISSN: 2071-0054.
- FEBLES, G.J.M.; FEBLES, D.J.M.; DO AMARAL, S.N.M.B.: “Resilience of Red Ferralitic soil in the karst regions of Mayabeque, Province, Cuba”, *Land Degradation & Development*, 1(8), 2018, ISSN: 1085-3278, DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ldr.2184>.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. INCA, Instituto de Suelos, MINAG ed., San Jose de las Lajas, Mayabeque. Cuba, 91 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.

análisis sistémico para el monitoreo de la calidad de los suelos.

Con la aplicación de la cromatografía radial se obtuvo cromatogramas patrones con los respectivos modelos de regresión múltiples que pueden tener su utilidad en estudios futuros de suelos Ferralíticos Rojos hidratados con diferentes manejos para predecir las propiedades físico-químicas y biológicas imprescindibles a evaluar y de esta forma sugerir el procedimiento a seguir para ejecutarlo por vía analítica. Esto puede hacer más viable el monitoreo sistémico de los mismos por la disminución en la complejidad de la metodología seguida para su realización con ahorro de tiempo y en la economía del proceso.

Este último aspecto fue valorado a través del análisis de costos que interviene en la técnica cualitativa de cromatografía en papel filtro circular comparado con los análisis cuantitativos. La valoración económica se realizó a partir del costo medio de cinco réplicas de análisis cromatográfico en papel filtro circular es de \$23.40 USD, con los cuales se puede realizar el análisis de 13 variables (\$1.98 por variable). En cambio, los análisis cuantitativos se cotizan en un rango de \$95.00, costo \$7.31/variable. Lo cual demuestra la factibilidad del método no sólo por su sencillas que le permite ser aplicado en estudios “in situ” en los sistemas de producción, sino también por los bajos gastos económicos que conllevan con su utilización.

De estos resultados se deriva un protocolo de trabajo para el monitoreo sistémico de suelos con diferentes manejos durante su explotación al introducir la cromatografía radial al mismo, lo que contribuiría a lograr el mantenimiento de la sustentabilidad de este recurso natural tan importante durante su uso.

CONCLUSIONES

- La cromatografía radial resultó ser un método rápido, funcional, integrador y económico que permite ser adecuado a las condiciones existentes in situ para predecir indicadores que lleven a complementar el estudio cuantitativo de los suelos Ferralíticos Rojos con diferentes manejos, haciendo más viable el monitoreo sistémico para diagnosticar su calidad en la toma de decisiones agrícolas adecuadas; lo que conllevaría a establecer una gestión autónoma del conocimiento del suelo durante su manejo, logrando contribuir a su sostenibilidad.

- HERNÁNDEZ, J.A.; DÍAZ, M.M.; BENÍTEZ, B.Y.: *Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la "llanura roja de La Habana"*, por el cultivo continuado, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San Jose de las Lajas, Mayabeque. Cuba, 83 p., 2014, ISBN: 959-7023-60-1.
- HERNÁNDEZ, J.A.; SERRANO, B.J.I.; PLANES, M.F.; RODRÍGUEZ, C.A.E.; GARCÍA, A.M.O.: *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales*, Ed. Univ. Autónoma de Nayarit, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y Universidad Autónoma de Nayarit ed., Nayarit, México, 80 p., 2010, ISBN: 607-7868-27-2.
- ISO 7722-04 1982: *Determinación de los sólidos disueltos totales. Método de ensayo*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, Cuba Control, La Habana, Cuba, 1982.
- ISO 10390:1999: *Calidad del suelo. Análisis Químico. Determinación del % de Materia Orgánica Calidad del suelo. Determinación del pH, [en línea]*, Inst. ISO (International Organization for Standardization), 7 p., 1999, Disponible en: <https://www.iso.org/standard/40879.html>, [Consulta: 24 de febrero de 2020].
- ISO 16072: "Soil Quality Laboratory Methods for Determination of Microbial Soil Respiration", *Geoderma*, 162: 251–259, 2002.
- MEDINA, S.T.; ARROYO, F.G.; PEÑA, C.V.: "Cromatografía de Pfaiffer en el análisis de suelos de sistemas productivos", *Rev. Mex. Cienc. Agríc.*, 9(3), 2018, ISSN: 2007-0934, DOI: <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1223>.
- MINAG-CUBA: *Instructivo técnico para la producción de papa en Cuba*, Ed. Ministerio de la Agricultura de Cuba (MINAG), La Habana, Cuba, 62 p., 2016.
- NC: 112, 2001: *Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y sales solubles totales en suelos afectados por salinidad. Rel. suelo-agua I*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, NC 112, La Habana, Cuba, 5 p., 2001.
- OMA: *Precious of the methods of analysis, [en línea]*, Ed. Official Methods of Analysis (OMA), 21st Edition Print Accreditation Guidelines (ALACC) Edition Print · Additional Image ed., 700 p., 2019, ISBN: 0-935584-89-7, Disponible en: <http://www.eoma.aoac.org/>.
- RESTREPO, J.; PINHEIRO, S.: *Cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo*, Ed. Imágenes Gráficas S. A., Cali, Colombia, 2015, ISBN: 978-958-44-8582-3.
- REYES, R.R.; PIERRE, G.; GURIDI, I.F.; VALDÉS, C.R.: "Disponibilidad de metales pesados en suelos Ferralíticos con baja actividad antrópica en San José de las Lajas, Mayabeque", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3): 37-40, 2014, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- SANTIAGO, M.; VICTORIA, A.; FEBLES, G.J.M.: "Una aproximación a los costos ambientales en los suelos ferralíticos rojos para el logro de la sostenibilidad", *Cofin Habana*, 12(1): 192-208, 2018, ISSN: 2023-6061.
- SANTOS, G.; CAMARGO, F.: *Fundamentos de la Materia Orgánica do solo. Ecosystems tropicais & subtropicals*, Ed. Metropolis, 2da Génesis ed., 654 p., 2008, ISBN: 978-89-85401-73-9.
- VANCE, D.E.; BROOKES, C.P.; JENKINSON, S.D.: "An extraction method for measuring soil microbial biomass C", *Soil biology and Biochemistry*, 19(6): 703-707, 1989, ISSN: 0038-0717.
- WALKLEY, A.; BLACK, I.: "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method", *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.
- WORLD REFERENCE BASE: *Mapa Mundial de Suelos, escala 1: 30 000 000*, (1: 30 000 000), Ed. FAO, EC, ISRIC, World Soil Resources, Roma. Italy, 2008.

Mayra Arteaga-Barrueta, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: mayra@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0591-2063>

Cesar Yesca-Jarquín, Estudiante de Pasantía, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Universidad de Oaxaca, México, e-mail: yesca@gmail.com

Adrián Álvarez-González, Maestrante Agroecología, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, e-mail: adrianag@unah.edu.cu

Lilian Otaño-Corona, Maestrante Agroecología, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, e-mail: lilita@unah.edu.cu

José Antonio Pino-Roque, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Matemáticas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pino@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9728-6700>

Alejandro. Carlos Evangelista, Estudiante de Pasantía, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Universidad de Oaxaca, México, e-mail: evangelistaac@gmail.com

Reinaldo Reyes-Rodríguez, Profesor Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: reinaldo_reyes@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6322-9510>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.