

Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba

Belyani Vargas Batis¹, Yatniel Escobar Perea², Rubert Rodríguez Fonseca³, Yordi Mauro Ramos García⁴, Ernesto Jesús Rodríguez Suárez⁵ & Onelkis Fuente Miranda⁶

¹ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6698-1281>, Universidad de Oriente, Departamento de Agronomía, Santiago de Cuba, Cuba, ²ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9687-2481>, Universidad de Oriente, Grupo Científico Estudiantil de Gestión Ambiental de Ecosistemas Agrícolas, Santiago de Cuba, Cuba, ³ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6032-6438>, Universidad de Oriente, Grupo Científico Estudiantil de Gestión Ambiental de Ecosistemas Agrícolas, Santiago de Cuba, Cuba, ⁴ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6282-0248>, Universidad de Oriente, Grupo Científico Estudiantil de Gestión Ambiental de Ecosistemas Agrícolas, Santiago de Cuba, Cuba ⁵ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7602-9913>, Universidad de Oriente, Grupo Científico Estudiantil de Gestión Ambiental de Ecosistemas Agrícolas, EES Empresa de Acopio Santiago de Cuba, Cuba, ⁶ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0609-340X>, Universidad de Oriente, Grupo Científico Estudiantil de Gestión Ambiental de Ecosistemas Agrícolas, EES Empresa de Acopio Santiago de Cuba, Cuba.

Citación: Vargas Batis, B., Escobar Perea, Y., Rodríguez Fonseca, R., Ramos García, Y. M., Rodríguez Suárez, E., & Fuente Miranda, O. (2020). Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. *Agrisost*, 26(3), 1-10. Recuperado a partir de <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/agrisost/article/view/e3323>

Recibido: 18 septiembre 2020

Aceptado: 23 noviembre 2020

Publicado: 4 diciembre 2020

Financiamiento: no se declara.

Conflictos de interés: no se declaran.

Correo electrónico: belyani@uo.edu.cu

Resumen

Contexto: El suelo es un recurso importante y constituye la base para la explotación agropecuaria y forestal. Sus propiedades químicas tienen relación con la disponibilidad de nutrientes. Sin un estudio adecuado de los indicadores de la naturaleza química de los suelos, es difícil comprender la fertilidad de estos.

Objetivo: Evaluar el comportamiento de algunas propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana de Santiago de Cuba.

Métodos: Se realizaron calicatas para tomar muestras en cada uno de los horizontes del suelo. Identificadas las muestras, fueron trasladadas a los Laboratorios de la Empresa Geominera Oriente. Se determinó el contenido de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), aluminio (Al^{3+}), sodio (Na^+) y potasio (K^+), relaciones catiónicas, el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), el Porcentaje de Saturación por Bases (V), Saturación respecto a la CICE y Materia Orgánica (M.O).

Resultados: El contenido de Ca^{2+} , Na^+ y K^+ tuvo un comportamiento variable mientras que el Al^{3+} y el Mg^{2+} se comportaron de manera similar, superando en todos los casos los límites de permisibilidad en el suelo. El pH fue la propiedad que menos variación mostró, encontrándose por encima de 7, el valor V en todos los casos fue superior al 85 % y la CICE se encontró por encima de 50 cmol.Kg^{-1} . La relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ mostró un balance desfavorable, la saturación por Na^+ fue elevada y el contenido de M.O de manera general fue bajo.

Conclusiones: Las propiedades químicas de los suelos en las fincas estudiadas son un factor limitante para el desarrollo de procesos productivos. A pesar de tener una fertilidad potencial y buen contenido de nutrientes, la relación entre los diferentes elementos hace que estos permanezcan retenidos en el suelo en formas que no pueden ser asimilados por los cultivos.

Palabras clave: agricultura sub urbana, nutrición, propiedades del suelo.

Chemical properties of the soil in four farms of suburban agriculture in Santiago of Cuba

Abstract

Context: Soil is an important resource and constitutes the basis for agricultural and forestry exploitation. Its chemical properties are related to the availability of nutrients. Without a proper study of the indicators of the chemical nature of soils, it is difficult to understand their fertility.

Objective: To evaluate the behavior of some chemical properties of the soil in four farms of suburban agriculture in Santiago de Cuba.

Methods: Pits were made to take samples in each of the soil horizons. Once the samples were identified, they were transferred to the Laboratories of Empresa Geominera Oriente. The content of calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), aluminum (Al³⁺), sodium (Na⁺) and potassium (K⁺), cationic ratios, pH, Effective Cation Exchange Capacity (CEC), Percent of Saturation by Bases (V), Saturation with respect to CEC and Organic Matter (OM).

Results: The content of Ca²⁺, Na⁺ and K⁺ had a variable behavior while Al³⁺ and Mg²⁺ behaved in a similar way, exceeding the permissibility limits in the soil in all cases. The pH was the property that showed the least variation, being above 7, the V value in all cases was higher than 85% and the CEC was found above 50 cmol.Kg⁻¹. The Ca²⁺ / Mg²⁺ ratio showed an unfavorable balance, the Na⁺ saturation was high and the content of M.O. was generally low.

Conclusions: The chemical properties of the soils in the studied farms are a limiting factor for the development of productive processes. Despite having potential fertility and good nutrient content, the relationship between the different elements means that these remain retained in the soil in ways that cannot be assimilated by crops.

Keywords: suburban agriculture, nutrition, soil properties.

Introducción

Los suelos y el agua tienen una estrecha relación por ser elementos de los ecosistemas que se aprovechan para diferentes usos (Rodríguez, 2018). El suelo es uno de los recursos más importantes y constituye la base para la explotación agropecuaria y forestal (Paiz, 2019). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2015), es un recurso finito pues su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Entre sus funciones está el proveer de agua y nutrientes a los cultivos e interviene en los ciclos del agua y nutrientes (Ferrerías, Toresani, Faggioli & Galarza, 2015).

Los procesos de industrialización, globalización y el aumento poblacional han ocasionado la expansión de la frontera agrícola. Se utiliza mayor cantidad de suelo para dicha actividad, provocando el deterioro de sus propiedades, conduciendo a una degradación paulatina (Novillo et al., 2018). De manera puntual, las propiedades químicas tienen relación con la disponibilidad de nutrientes y agua de calidad para las plantas (Calderón, Bautista & Rojas, 2018). Me et al. (2018) plantearon que la fertilidad química es un factor esencial en la disponibilidad de nutrientes. De ahí que, sin un estudio adecuado de los indicadores que conforman la fertilidad y naturaleza química de los suelos, es difícil comprender la fisiología de la nutrición de los cultivos económicos, sobre todo, en las regiones tropicales.

El suelo desde la agricultura urbana y suburbana tiene un tratamiento especial. Según López (2014), el darle un mejor uso es uno de los aspectos positivos del programa. Burgos y otros (2014) señalaron que como factor condicionante, es importante conocer las bases para manejarlo correctamente partiendo de un estudio previo y para caracterizarlo con el objetivo de valorar si es o no adecuado para el cultivo.

En fincas suburbanas de Santiago de Cuba se pueden citar los trabajos de Escobar, Vargas, Fuentes, Rodríguez & Molina (2017) y Galindo, Cobas,

Martínez, Escobar & Vargas (2019). Ambos estudios están relacionados con la calidad del suelo pero se basan en una evaluación visual. Aunque se obtuvieron buenos resultados, es necesario profundizar en estos estudios evaluando otras propiedades de manera tal que permitan desarrollar procesos productivos centrados en las condiciones reales de este recurso.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento de algunas propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en las fincas suburbanas del municipio Santiago de Cuba seleccionadas por Escobar et al. (2017). La Esperanza (20.047084 de latitud norte y 75.751690 de longitud oeste a 25 m.s.n.m.), La Caballería (20.047843 de latitud norte y 75.794819 de longitud oeste a 20 m.s.n.m.), Los Cascabeles (20.057827 de latitud norte y 75.800777 de longitud oeste a 50 m.s.n.m.) y La Sorpresa (20.038776 de latitud norte y 75.789878 de longitud oeste a 20 m.s.n.m.). De manera general no se han realizado estudios para determinar el tipo de suelo en estas fincas, aunque se debe tener en cuenta que los suelos predominantes en Santiago de Cuba son los pardos sialíticos (Hernández, Pérez, Bosch & Castro, 2015). Respecto a las condiciones climáticas, de manera cualitativa (según los productores) las precipitaciones se pueden clasificar de muchas a regulares (variando hacia la disminución) y las temperaturas de medias a altas.

Se tomaron muestras de suelo en cada finca utilizando el método estratificado para las fincas La Esperanza y Los Cascabeles en tanto para La Caballería y La Sorpresa se empleó el zigzag. Fueron tomadas muestras (2 Kg) con la ayuda de una pala que fueron depositadas en bolsas de polietileno (18,5 cm x 12,5 cm) e identificadas posteriormente. Las muestras fueron trasladadas a la Unidad Empresarial de Base

(UEB) Laboratorios de la Empresa Geominera Oriente para la determinación de las propiedades químicas.

La preparación de las muestras para los diferentes análisis se realizó en los laboratorios antes referidos según la Norma Cubana NC-ISO 11464:1999. Se determinó el contenido de Ca²⁺ mediante la fundición de muestras (Espectrómetro Absorción Atómica Multielemental AA 300). El contenido de Mg²⁺ y Al³⁺ se determinó de manera sensorial (ICP-OES Plasma Inducido Acoplado). El Na⁺ y el K⁺ se cuantificaron por fotometría de llama (Fotómetro de Emisión Líquida CORNING-400). En todos los casos el contenido fue medido en cmol.Kg⁻¹. Con todos esos datos se calculó las relaciones catiónicas, la CICE, el valor V según lo descrito por Molina (2020).

La saturación de bases respecto a la CICE se determinó por el procedimiento descrito por Toledo (2016) y el PSI o saturación por Na⁺ se calculó según Alconada (2017) en todos los casos las fórmulas se muestran a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Saturación por Ca}^{2+} (\%) &= \frac{\text{calcio}}{\text{CICE}} \times 100 \\ \text{Saturación por K}^+ (\%) &= \frac{\text{potasio}}{\text{CICE}} \times 100 \\ \text{Saturación por Mg}^{2+} (\%) &= \frac{\text{magnesio}}{\text{CICE}} \times 100 \\ \text{Saturación por Al}^{3+} (\%) &= \frac{\text{aluminio}}{\text{CICE}} \times 100 \\ \text{PSI} &= \frac{\text{sodio}}{\text{CICE}} \times 100 \end{aligned}$$

Se determinó pH (según el procedimiento descrito en la Norma Cubana NC-ISO 10390:1999) y el contenido de M.O (método de Walkley-Black). Los resultados obtenidos fueron certificados por la entidad y se prohibió cualquier reproducción (parcial o total), salvo por el cliente del contrato.

Se realizó una valoración de las propiedades del suelo al interior de cada finca y entre ellas. En el análisis estadístico para el contenido de K⁺ se aplicó una Prueba Múltiple de Rangos por LSD y en el resto de las propiedades se utilizó la Prueba de Kruskal-Wallis. Todo el procesamiento estadístico para estas propiedades se realizó a partir del paquete estadístico StatSoft. STATISTICA v10.0.228.8.

Resultados y discusión

El contenido de Ca²⁺, Na⁺ y K⁺ (Tabla 1) tuvo un comportamiento variable. El mayor valor para el Ca²⁺ se obtuvo en la finca La Sorpresa con diferencias significativas sobre el resto de los sistemas agrícolas. Luego se ubicaron Los Cascabeles, La Caballería y La Esperanza por ese orden, sin diferencias significativas entre las dos últimas. De forma general el contenido

de Ca²⁺ estuvo entre los 14,1 y 34 cmol.Kg⁻¹ y si se tiene en cuenta que 1 Meq.100g=1 cmol.Kg⁻¹, se puede catalogar de alto según el Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (1992) y Ramírez, Velásquez & Acosta (2007).

Tabla 1. Comportamiento de cationes en el complejo absorbente del suelo en las fincas objeto de estudio.

Fincas	Contenido en (cmol.kg ⁻¹) (cmol.kg ⁻¹)				
	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	Mg ²⁺
LE	14,10c	9,90b	5,00 b	6,62c	15,30b
LC	15,80c	11,00b	3,90 c	7,39a	20,50a
LCs	23,00b	5,10c	2,90 d	7,46a	20,80a
LS	34,00a	13,90a	5,75 a	7,05b	16,90b
CV (%)	61,38	42,72	30,69	10,69	20
EsX	7,515	0,833	0,189	0,193	0,951

Nota: LE: La Esperanza, LC: La Caballería, LCs: Los Cascabeles, LS: La Sorpresa, CV: Coeficiente de variación, EXs: Error estándar

En el complejo absorbente del suelo, es importante que el Ca²⁺ esté en mayor proporción, sin embargo, en el trabajo, aunque no fue el de mayor presencia en las fincas La Esperanza y Los Cascabeles, si secundó a los elementos que se presentaron en mayor proporción en estos predios productivos. Según Yfran et al. (2017), el Ca²⁺ es un integrante importante de la membrana de las células, le confiere estabilidad, actúa como cementante, mantiene la integridad de éstas y es importante en la economía del agua. Tiene relación estrecha con la actividad meristemática, influye en la regulación de los sistemas enzimáticos y la actividad de fitohormonas.

El contenido Na⁺ en estos suelos es menor en comparación con el Ca²⁺. Los valores más altos se reportaron igualmente en la finca La Sorpresa con diferencias estadísticas sobre el resto. Para este elemento no se evidenció diferencia entre las fincas La Esperanza y La Caballería mientras que, en Los Cascabeles fue donde menor cantidad se reportó. Considerando todos los valores el contenido de Na⁺ osciló entre 5,1 y 13,9 cmol.kg⁻¹. De acuerdo con el ICA (1992) este elemento debe estar por debajo de 1 cmol.kg⁻¹ o del 5 % de saturación, por lo cual para las fincas en estudio la presencia del elemento se considera ligeramente alta en Los Cascabeles y La Esperanza, en tanto, para La Caballería y La Sorpresa se considera alta. La presencia de alto contenido de Na⁺ en estos suelos debe tratarse cuidadosamente pues es un elemento que en presencia de otros tiende a formar sales contribuyendo a su alcalinidad.

En cuanto al K⁺ todas las fincas mostraron diferencias significativas aunque a La Sorpresa le correspondió la mayor cantidad. El contenido de K⁺ se mantuvo entre 2,9 y 5,75 cmol.kg⁻¹. Como se puede apreciar en todos

los casos los resultados obtenidos son superiores a 0,4 cmol.Kg⁻¹ por lo que su presencia en los suelos objeto de estudio, según Ramírez et al. (2007) se considera alta. El que no se manifieste deficiencia de este elemento es importante al ser descrito como un elemento esencial en la nutrición vegetal (Hu et al., 2016). Es el catión primordial y participa en procesos fisiológicos y metabólicos. Tiene efectos sobre la transducción de energía, en la asimilación de amonio, el crecimiento y la conversión de aminoácidos (Ramírez, Magnitskiy, Melo & Melgarejo, 2018).

Del contenido de Al³⁺ se puede decir que la mayor cantidad se reportó en el suelo de Los Cascabeles la cual no difiere estadísticamente con La Caballería. La menor cantidad se presentó en La Esperanza, que difiere desde el punto de vista estadístico con el resto, al igual que La Sorpresa. Este elemento se encontró en un rango que varió entre 6,62 y 7,46 cmol.Kg⁻¹ siendo muy superior a los 2 cmol.Kg⁻¹ referidos por Ramírez et al. (2007) para ser considerado bajo. Desde el punto de vista agrícola el Al³⁺ es un elemento que no debe encontrarse en la capa del suelo que sirve como sustrato nutricional de los cultivos. En caso estar presente, debe permanecer lo más bajo posible y en todo momento evitarse su aumento debido a que no constituye nutriente.

Rivera, Moreno, Herrera & Romero (2016) señalaron que el Al³⁺ soluble es un factor limitante para el crecimiento y la producción en suelos ácidos. Conlleva a la disminución de la solubilidad de otros elementos en la solución del suelo y en la planta, causa una alteración del metabolismo general e inhibe el crecimiento radical reduciendo la toma de agua y nutrientes.

En cuanto al Mg²⁺, el mayor contenido se encontró en La Caballería y Los Cascabeles sin diferencias estadísticas entre ellas, aunque ambas difieren de La Esperanza y La Sorpresa, entre las que tampoco existen diferencias significativas. De manera general el rango de la cantidad de Mg²⁺ en estos sistemas productivos se ubicó entre 15,3 y 20,8 cmol.Kg⁻¹. Teniendo en cuenta este rango el contenido de Mg²⁺ en los suelos de las fincas objeto de estudio se cataloga de alto al superar los 2,5 cmol.Kg⁻¹ referidos por el ICA (1992).

Conocer la presencia de este elemento en el suelo y su cantidad es de suma importancia, pues participa en la actividad fotosintética y el metabolismo glucídico en la planta. Activa enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos e influye en el color verde de las hojas (Reyes, Mora, Morales & Pérez, 2017). Ello se debe a que es uno de los iones más abundantes en la corteza terrestre y, en las plantas, es el elemento central de la clorofila (Snigdha, Sandeep & Jerry, 2018).

De forma general los diferentes elementos evaluados se encuentran de manera abundante en los suelos estudiados. Lo que pudiera ser en primera instancia

beneficioso para los procesos productivos que se desarrollan en estos agroecosistemas. Sin embargo, en los trabajos de caracterización química de los suelos con marcada frecuencia se hace una interpretación de cada uno de los elementos de manera aislada sin tener en cuenta el balance entre estos o las relaciones catiónicas. Dicho análisis puede brindar información importante relacionada con la posible existencia de antagonismo entre los iones.

Cuando se analizan las relaciones catiónicas (Tabla 2) ocurre lo siguiente. En todos los sistemas productivos que se analizan la relación Ca²⁺/Mg²⁺ se encuentra entre 0,77 y 2,01 cmol.Kg⁻¹. De acuerdo con la escala referida por Moro (2015) para las fincas La Esperanza y La Caballería esta relación es menor que 1 lo que significa que existe deficiencia del Ca²⁺ respecto al Mg²⁺. Para el caso de la finca Los Cascabeles el valor obtenido está entre 1 y 2 lo que evidencia bajo nivel de Ca²⁺ en relación con Mg²⁺, solo para la finca La Sorpresa el balance es ligeramente superior y está dentro del rango considerado ideal donde el nivel de Mg²⁺ respecto al Ca²⁺ es bajo y por tanto ambos elementos son asimilables. Sin embargo, en esta finca se debe tener cuidado y no propiciar una disminución de esta relación, pues el balance obtenido entre los dos elementos se encuentra muy cercano al límite inferior del rango (2)

La relación Mg²⁺/K⁺ en todos los suelos estudiados varió entre 2,94 y 7,17 cmol.Kg⁻¹ encontrándose en el rango ideal (entre 3 y 18) referido por Sadeghian (2012), excepto en la finca La Sorpresa donde se encuentra ligeramente por debajo. Teniendo en cuenta estos resultados se puede decir que en los suelos de las fincas estudiadas no existe antagonismo entre estos dos elementos. No obstante, de acuerdo con los valores alcanzados, en La Sorpresa se puede ver afectada ligeramente la absorción del Mg²⁺ respecto al K⁺.

En cuanto al balance entre el Ca²⁺ y el K⁺ los valores de la relación, considerando todos los resultados obtenidos, se encuentran entre 2,82 y 7,93 cmol.Kg⁻¹. Dichos valores pueden ser catalogados de adecuados al ser menores de 30 según la escala referida por Moro (2015). De lo planteado se entiende que entre ambos elementos no existe antagonismo en los suelos de las fincas objeto de estudio.

Tabla 2. Relaciones entre los elementos evaluados.

Relación (cmol.Kg ⁻¹)	Fincas			
	LE	LC	LCs	LS
Ca ²⁺ /Mg ²⁺	0,92	0,77	1,11	2,01
Mg ²⁺ /K ⁺	3,06	5,26	7,17	2,94
Ca ²⁺ /K ⁺	2,82	4,05	7,93	5,91
(Ca ²⁺ +Mg ²⁺)/K ⁺	5,88	9,31	15,10	8,81
(Ca ²⁺ +Mg ²⁺ +K ⁺)/Al ³⁺	5,20	5,44	8,81	8,04

Nota: LE: La Esperanza, LC: La Caballería, LCs: Los Cascabeles, LS: La Sorpresa

Para que el contenido de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ respecto al K^+ sea ideal debe encontrarse, de acuerdo con Sadeghian (2012), entre 10 y 40 lo que solo se cumple para el caso de Los Cascabeles. De lo planteado se entiende que en este predio productivo existe disponibilidad de K^+ en relación con la combinación $Ca^{2+}+Mg^{2+}$. Para el resto de los predios productivos, aunque la relación no se considera inadecuada, se debe tener cuidado en el manejo de los suelos pues, existe el riesgo potencial de que se produzca un antagonismo entre el K^+ y la combinación $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ dificultándose la absorción de estos últimos elementos.

Como se expresó cuando se analizó el contenido de Al^{3+} , este elemento se encuentra presente de manera abundante en los suelos de estas fincas. Sin embargo, cuando se analiza la relación $Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^+$ respecto al Al^{3+} se puede decir que se comporta de manera adecuada teniendo en cuenta la escala referida por Moro (2015) y por tanto no hay necesidad de realizar encalado para aumentar el pH del suelo. El que en estos suelos no haya necesidad de encalar a pesar de que el Al^{3+} se encuentre muy por encima de los valores permisibles para suelos agrícolas, se debe a la abundante presencia (por encima de los límites permisibles) de otras bases como el Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y el K^+ cuyo contenido, en el caso de las tres primeras, supera al del Al^{3+} . El comportamiento antes descrito pudiera ser la explicación de que las otras relaciones analizadas en los suelos de las fincas estudiadas, de forma general en su mayoría se encuentran dentro del rango permisible.

Las relaciones obtenidas en esta investigación fueron más estrechas que las reportadas por Combatt, Novoa, Barrera & Violeth (2012) y más amplias que las encontradas por Luiz, Mozena, Cayô, Cavalcanti & Duarte (2019) para el caso del Mg^{2+}/K^+ y Ca^{2+}/K^+ . De lo planteado se entiende que, tanto el balance como el contenido de nutrientes antes presentados, pueden influir de manera significativa en la capacidad de estos suelos para ceder o retener estos elementos.

En los suelos de las fincas objeto de estudio se encontró que la CICE osciló en un rango entre 50,92 y 70,55 $cmol.Kg^{-1}$ (Tabla 3). Según la escala del MINAGRI (1984) referida por Molina (2020) estos valores se clasifican como muy altos al superar los 40 $cmol.Kg^{-1}$ lo que pudiera estar relacionado con el hecho de que los elementos de los cuales depende esta propiedad estuvieron presentes de manera abundante. Teniendo en cuenta estos resultados se puede decir que los suelos de estas fincas poseen una capacidad intrínseca para almacenar en sus coloides nutrientes de cargas positivas o cationes. Ello, como característica, pudiera hablar en bien de los suelos objeto de estudio.

Tabla 3. CICE y el valor V.

Fincas	CICE ($cmol.Kg^{-1}$)	Cl	V	Cl	
				V	GL
LE	50,92	MA	86,99	A	B
LC	58,59	MA	87,38	A	B
LCs	59,26	MA	87,41	A	B
LS	77,60	MA	90,91	A	B

Nota: LE: La Esperanza, LC: La Caballería, LCs: Los Cascabeles, LS: La Sorpresa, CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, V: Porcentaje de saturación por base, Cl: Clasificación, GL: Grado de lavado, MA: Muy alta, A: Alto, B: Bajo

Huerta (2010) señaló que la CIC, expresa el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada. Un mol de carga positiva equivale a $6,02 \times 10^{23}$ cargas de cationes adsorbidos.

A lo planteado anteriormente se le une que el porcentaje de saturación por base de estos suelos también fue alto, según la escala referida por Molina (2020). Se dice esto porque el rango de valores para esta propiedad osciló entre el 80,1 y el 90,01 % y se encuentre en el rango del 80 al 95 % establecido por escala para ser considerado de esta manera. Teniendo en cuenta este comportamiento, el lavado de las bases se considera bajo lo que confirma la capacidad de estos suelos para almacenar cationes. Los suelos de las fincas estudiadas pueden considerarse como suelos saturados.

Sin embargo, cuando se analizan aspectos como la saturación por bases (Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+}) respecto a la CICE, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y saturación por Al^{3+} (Tabla 4), se puede apreciar que estos suelos no pueden manifestar toda su capacidad de intercambio y ceder el elevado contenido catiónico que poseen, pues debido a su elevada presencia algunos de ellos se convierten en factores limitantes.

Tabla 4. Comportamiento de la saturación en relación con la CICE.

Saturación (%)	Fincas			
	LE	LC	LCs	LS
Saturación $Ca^{2+}/CICE$	27,69	26,97	38,81	48,19
Saturación $K^+/CICE$	9,82	6,66	4,89	8,15
Saturación $Mg^{2+}/CICE$	30,05	34,99	35,10	23,95
Saturación $Al^{3+}/CICE$	13,00	12,61	12,59	9,99
PSI	19,44	18,77	8,61	19,70

Nota: LE: La Esperanza, LC: La Caballería, LCs: Los Cascabeles, LS: La Sorpresa

La saturación por Ca^{2+} osciló en un rango que va desde el 26,97 % hasta el 48,19 %, en el caso de la saturación por K^+ los valores están entre el 4,89 y el 9,82 %

mientras que, la saturación por Mg^{2+} osciló del 9,99 al 13,00 %. De acuerdo con la escala reportada por Bianchini (s.f.) la saturación por Ca^{2+} se considera baja al ser inferior al 60 %, en tanto la saturación por K^+ y Mg^{2+} se considera buena al superar el 3 y 6 % respectivamente. Estos resultados refuerzan lo planteado cuando se analizó el contenido de nutrientes en estos suelos donde se señaló la importancia de que, de las bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+), es conveniente que el Ca^{2+} sea el que predomine. Esto solo se cumple en Los Cascabeles y La Sorpresa aunque, para todas las fincas, la presencia de este elemento en la saturación por bases se cataloga de bajo.

El Al^{3+} es un elemento que contribuye a la acidez del suelo y tanto, como elemento aislado como en la saturación, ocupa niveles superiores a los permisibles para el desarrollo agrícola, a pesar de ello en los casos en estudio no llega a desarrollar acidez. Ello se debe a que el PSI se encuentra entre el 8,61 y el 19,7 % superando de manera excesiva el 5 % y de acuerdo con la escala propuesta por Alconada (2017) se clasifica de alto excepto en la finca Los Cascabeles que se cataloga de medio. Por tanto se trata de suelos sódicos que pueden tener una tendencia a la alcalinidad.

Toledo (2016) planteó que el Al^{3+} es un elemento que causa acidez en los suelos debido a que reacciona con el agua y libera hidrógeno a la solución ($Al^{3+} + H_2O \rightarrow Al(OH)^{+2} + H^+$). El Al^{3+} soluble en el suelo, en general, no le sirve a las plantas cultivadas debido a que este no es esencial para su desarrollo. Respecto al Na^+ señaló que es usado por las plantas en pequeñas cantidades, sin embargo, puede dañarlas cuando se presenta en el suelo en altas concentraciones (por salinidad o sodicidad). El sodio es un problema en lugares secos por lo cual es importante mantenerlo en observación. Respecto al Na^+ Molina (2020) refirió que no debe presentar valores altos dado a su carácter tóxico y peptizante de los coloides del suelo. Agregó que con más del 15 % de la CICE saturado por este elemento se considera el suelo sódico, con propiedades que lo hacen inadecuado para los cultivos. Entonces no basta con que los elementos estén presentes, sino que es necesario que exista una correcta relación entre ellos.

Los resultados hasta aquí presentados hacen pensar que los suelos de estas fincas a pesar de tener abundante presencia de las bases principales, elevada CICE y valor de V, poseen una fertilidad potencial. La elevada presencia de Al^{3+} y Na^+ en los coloides de estos suelos unido a un aumento de la sequía (cada vez más frecuente) hace que muchos de los elementos presentes no sean asimilables para las plantas y por tanto estas no estarán en condiciones de expresar su máximo potencial de rendimiento. Específicamente el Na^+ puede contribuir a la alcalinidad de los suelos, lo que sugiere que se debe utilizar con cuidado y de manera racional el agua que se utilice para el riego, teniendo claridad del balance de los cationes presentes en ella. Di Gerónimo, Videla, Fernández, Zamuner & Laclau (2018) señalaron que el desbalance de los

nutrientes básicos (Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+}) puede generar problemas en el pH.

Respecto al pH, esta fue un de las propiedades que menos variación mostró en los suelos de estos predios productivos (Tabla 5). En todos los casos se encontró por encima de 7 (rango de 7,6 a 8,1) lo que significa que son suelos básicos que tienden a la alcalinidad. El mayor valor para este indicador se mostró en La Sorpresa con diferencias estadísticas sobre el resto de las fincas entre las cuales no existen diferencias significativas. Este comportamiento puede ser resultado de la elevada presencia de Na^+ en el suelo y de un elevado PSI respecto a la CICE de los mismos.

Tabla 5. pH y el contenido de materia orgánica.

Fincas	pH	M.O. (%)
La Esperanza	7,6 b	1,22b
La Caballería	7,9 b	1,18b
Los Cascabeles	7,7 b	1,42b
La Sorpresa	8,1 a	2,33a
CV (%)	4,17	60,09
EsX	0,08	0,21

Nota: M.O.: Materia orgánica, CV: Coeficiente de variación, EsX: Error estándar

De acuerdo a los valores de pH la clasificación de suelos puede variar entre los expertos. Sin embargo, Huerta (2010) señaló que un suelo es fuertemente ácido si su pH es menor que 5 (muy deficiente en bases), moderadamente ácido, si el pH varía de 5 a 6 (moderada deficiencia de bases), ligeramente ácido cuando el pH es menor que 7 pero superior a 6, neutro si el valor de pH es igual a 7, básico cuando el pH es mayor a 7 y alcalino si el pH es mayor a 8,5 indicando la presencia de Na^+ . Los presentes resultados refuerzan lo planteado por Soto (2015) quién refirió en un estudio que en el suelo donde se presentó mayor pH el contenido de Al^{3+} disminuyó respecto a los elementos formadores de sales en el suelo. Rivera et al. (2016) señalaron que para disminuir la acidez de los suelos se debe evitar la mineralización de materiales parentales con bajo contenido de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+).

Por otro lado los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en la superficie de las partículas, pero a pH altos, los hidrógenos de los grupos carboxílicos primero y de los radicales hidroxilos después, se disocian y los H^+ pueden ser cambiados por cationes (Mosquera, 2017) lo que puede ser propiciado por bajo contenido de M.O. Según Valenzuela & Visconti (2018), las propiedades químicas dentro de ellas pH, CIC y saturación de bases intercambiables, son las ideales para interpretar las condiciones del suelo como medio químico. Las condiciones físico-químicas del suelo afectan el carbono orgánico, siendo el pH una de las más influyente. La M.O también puede contribuir a la acidez, a través de los grupos carboxílicos y fenólicos

activos que se disocian en el suelo liberando hidrógeno (Abrego, 2012; Quezada, 2020).

En relación con la M.O, el mayor contenido se encontró en la finca La Sorpresa con diferencias significativas sobre el resto de los predios productivos, entre los cuales no existen diferencias. De manera general se puede decir que el contenido de M.O en los suelos de estas fincas es bajo, excepto en La Sorpresa donde se considera moderado. Según la escala referida por Molina (2020) niveles de M.O menor que dos se consideran bajos y de 2 a 4 se catalogan como moderados. Cabe destacar que en el caso de la finca La Sorpresa se debe realizar un manejo adecuado del suelo en función de mantener o aumentar esta propiedad, pues el contenido de M.O encontrado está muy cercano al límite inferior del rango clasificatorio.

Es posible que el comportamiento del resto de las propiedades analizadas anteriormente, tenga relación con los resultados encontrados para la M.O. Sin lugar a dudas el estado de esta propiedad en los suelos es sumamente importante. Wolff & Ovalle (2016) señalaron que la M.O es determinante en la estructura del suelo al participar en la formación de agregados, potencia la resistencia a la erosión, mejora la capacidad de infiltración, el almacenamiento y la retención de agua, y participa en la captura y secuestro de una parte del carbono atmosférico.

De lo planteado se entiende que la fertilidad de un suelo no depende solamente de la presencia de elementos en el, ni de que este tenga una buena CICe, sino que la existencia de un buen contenido de M.O es otro de los factores que determina la fertilidad. Según Medina, Volke, Galvis, Cortés & Santiago (2017), es un componente fundamental en los procesos edáficos y tiene un efecto positivo en la productividad de los sistemas agrícolas. En su proceso de descomposición y mineralización, aporta elementos nutritivos para las plantas, incrementa la CIC lo que disminuye las pérdidas de elementos minerales por lixiviación y los protege en contra de su fijación por las arcillas del suelo.

Mosquera (2017) y Mora, Alcalá, Rosas & González (2017) señalaron que la CIC del suelo es la cantidad total de cargas negativas que están disponibles, principalmente en las arcillas y en la M.O (ambos con propiedades coloidales). Estos parámetros son indicadores de fertilidad en los suelos, por lo que es relevante determinar si se encuentran en la cantidad y a la profundidad idónea. Valores altos a muy altos de CIC y de MO indican que las condiciones del suelo tienden a una buena fertilidad. La M.O presenta valores de CIC entre 200 y 400 cmol.Kg^{-1} siendo muy superiores a la que poseen los minerales de arcilla (entre 10 y 150 cmol.Kg^{-1}). De modo que el tipo y cantidad de arcilla, así como, la M.O influyen enormemente la CIC. A medida que el contenido de arcilla y/o M.O aumentan el suelo en cuestión tendrá mayor CIC. Esta capacidad de retener e intercambiar

cationes es un indicador directo de la fertilidad (Abrego, 2012; Quezada, 2020).

Todo lo señalado anteriormente permite plantear que en los suelos de las diferentes fincas, el contenido de M.O influye negativamente en la fertilidad. Si bien es cierto que contienen elementos y capacidad alta para intercambiarlos, estos son retenidos, potenciado en primer lugar por la baja CIC aportada por la M.O. Unido a lo anterior se encuentra el elevado pH (con tendencia a la alcalinidad) que entre otras cosas es indicativo de elevada presencia de Na^+ y este elemento cuando se encuentra abundante en la porción intercambiable del suelo hace desasimilables otros elementos. Este hecho se ve agravado con la relación desfavorable que existe entre elementos como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} .

Se puede decir que los niveles altos de bases intercambiables en los suelos de estas fincas, indican que son una buena reserva de estos nutrientes, pero desde el punto de vista productivo, no están mayormente disponibles para los cultivos. De todas las fincas estudiadas, el suelo con mejor característica se encontró en La Sorpresa, aunque todavía presenta condiciones que son potencialmente limitantes para el desarrollo de los cultivos. De manera general, se precisa la utilización de abonos orgánicos y restos de cosecha para mejorar el contenido de M.O en estos suelos.

Conclusiones

Las propiedades químicas de los suelos en las fincas estudiadas son un factor limitante para el desarrollo de procesos productivos. A pesar de tener una fertilidad potencial y buen contenido de nutrientes, la relación entre los diferentes elementos hace que estos permanezcan retenidos en el suelo en formas que no pueden ser asimilados por los cultivos.

Contribución de los autores

Belyani Vargas Batis: planeación de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión final.

Yatniel Escobar Perea: diseño de la investigación, análisis de resultados, redacción y revisión final.

Rubert Rodríguez Fonseca: búsqueda de literatura, análisis de los resultados, revisión final.

Yordi Mauro Ramos García: búsqueda de literatura, revisión final.

Ernesto Jesús Rodríguez Suárez: trabajo de campo, revisión final.

Onelkis Fuente Miranda: trabajo de campo, revisión final.

Conflictos de interés

No se declaran.

Referencias

- Abrego, F. L. (2012). *Calidad ambiental de suelos. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico*. Noroeste de Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires.
- Alconada, M. M. (2017). *Interpretación de perfiles edáficos como parte de un paisaje a fin de definir manejos sustentables*. Recuperado el 26 de octubre de 2020, de: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35474/mod_resource/content/1/GUIA%20DE%20INTERPRETACION%20C3%93N%20DE%20PERFILES.pdf
- Bianchini, A. (s.f.). *Interpretación de análisis de suelo*. [PowerPoint]. Recuperado el 20 de octubre de 2020, de: <https://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/interpretacion-de-analisis-de-suelo>
- Burgos, P., Ramos, A., Castro, A., Ramírez, C., Campos, R., & Díaz, R. (2014). Calidad del suelo: base de una agricultura ecológica. En *Resúmenes. II Congreso Estatal de Agricultura Ecológica Urbana y Periurbana. Huertos Urbanos, autoconsumo y participación social*. (p. 61). Sevilla, España: Sociaci3n Espa3ola de Agricultura Ecol3gica; UTRERA; coparque. Recuperado el 15 de abril de 2019, de: <https://www.agroecologia.net/wp-content/uploads/2015/05/CDR-Congreso-Utrera-2014-def-prot.pdf>
- Calder3n-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-Gonz3lez, S. (2018). Propiedades qu3micas, f3sicas y biol3gicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *ORINOQUIA*, 22(2), 142-157, doi: <http://dx.doi.org/10.22579/20112629.524>
- Combatt-Caballero, E., Novoa-Y3nez, R., & Barrera-Violeth, J. L. (2012). Caracterizaci3n qu3mica de macroelementos en suelos cultivados con pl3tano (*Musa AAB* Simmonds) en el departamento de C3rdoba, Colombia. *Acta Agron3mica*, 61(2), 166-176. Recuperado el 15 de abril de 2019, de: <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169925874003.pdf>
- Di Ger3nimo, P. F., Videla, C., Fern3ndez, M. E., Zamuner, E. C., & Laclau, P. (2018). Cambios en propiedades qu3micas y bioqu3micas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata* D. Don y rotaciones agr3colas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Science (ex Agro-Ciencia)*, 34(2), 89-101, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000302>
- Escobar-Perea, Y., Vargas-Batis, B., Fuentes-Miranda, O., Rodr3guez-Orsorio, O., & Molina-Lores, L. B. (2017). Evaluaci3n visual de la calidad del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, (3), 13-28. Recuperado el 15 de abril de 2019, de: <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181353026002.pdf>
- Ferreras, L. A., Toresani, S. M. I., Faggioli, V. S. & Galarza, C. M. (2015). Sensibilidad de indicadores biol3gicos ed3ficos en un Argiudol de la Regi3n Pampeana Argentina. *Spanish Journal of Soil Science*, 5(3), 227-242, doi: <https://doi.org/10.3232/SJSS.2015.V5.N3.04>
- Galindo, A., Cobas, M., Mart3nez, R., Escobar, Y., & Vargas, B. (2019). Calidad visual del suelo y complejidad de diez fincas suburbanas de Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1(4), 16-31. Recuperado el 15 de abril de 2020, de: https://www.researchgate.net/publication/334373972_Calidad_visual_del_suelo_y_complejidad_de_diez_fincas_suburbanas_de_Santiago_de_Cuba
- Hern3ndez, A., P3rez, J. M., Bosch, D., & Castro, N. (2015). *Clasificaci3n de los suelos de Cuba*. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA.
- Hu, W., Lv, X., Yang, J., Chen, B., Zhao, W., Meng, Y.,...Oosterhuis, D. (2016). Effects of potassium deficiency on antioxidant metabolism related to leaf senescence in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, 191, 139-149, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.025>
- Huerta, H. (2010). *Determinaci3n de propiedades f3sicas y qu3micas de suelo con mercurio en la regi3n de San Joaqu3n, QRO., y su relaci3n con el crecimiento bacteriano*. San Joaqu3n. (Tesis de grado, Licenciatura en Biolog3a), Universidad Aut3noma de Quer3taro Facultad de Ciencias Naturales, M3xico. Recuperado el 12 de abril de 2020, de: https://nanopdf.com/downloadFile/determinacion-de-propiedades-fisicas-y-quimicas-de-suelos-con_pdf
- Instituto Colombiano Agropecuario. (1992). *Fertilizaci3n en diversos cultivos. Manual de asistencia t3cnica No. 25*. Tibaitat3, Colombia: ICA-Ministerio de Agricultura. Recuperado el 12 de abril de 2020, de: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/14124/27733_16902.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- L3pez, R. (2014). *Beneficios ambientales de la agricultura urbana y periurbana ecol3gica*. Conferencia presentada en el II Congreso Estatal de Agricultura Ecol3gica Urbana y Periurbana. Huertos urbanos, autoconsumo y participaci3n social. Utrera, Sevilla.

- Recuperado el 12 de abril de 2020, de: https://digital.csic.es/bitstream/10261/116301/3/Beneficios_ambientales_agricultura_eco%C3%B3gica_urbana_periurbana_2014_Com_Congr..pdf
- Luiz-Partelli, F., Mozena-Leandro, W., Cayô-Cavalcanti, A., & Duarte-Vieira, H. (2019). Diagnóstico integrado y rangos de nutrientes en el suelo para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la región de Cerrado. *Cultivos Tropicales*, 40(4), e03. Recuperado el 12 de abril de 2020, de: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n4/1819-4087-ctr-40-04-e03.pdf>
- Martín, G. M., Rivera Espinosa, R., Fundora, L. R., Cabrera, A., Martín, N., & Alonso, C. (2018). Evolución de algunas propiedades químicas de un suelo después de 20 años de explotación agrícola. *Cultivos tropicales*, 39(4), 21-26. Recuperado el 15 de abril de 2020, de: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v39n4/ctr03418.pdf>
- Medina-Méndez, J., Volke-Haller, V., Galvis-Spínola, A., Cortés-Flores, J. I., & Santiago-Cruz, M. de J. (2017). Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 499-508. Recuperado el 15 de abril de 2020, de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n2/43750618014.pdf>
- Molina, L. B. (2020). *Propiedades químicas de los suelos. Carpeta metodológica de la asignatura Ciencias del Suelo*. Santiago de Cuba, Cuba: Universidad de Oriente.
- Mora Rosas, J. L., Alcalá de Jesús, M., Rosas Murillo, M. S., & González Cortes, J. C. (2017). Capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica en el suelo. *XIV Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia (S1-BYQ16)*. [Resumen]. León, Guanajuato. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: http://congresos.cio.mx/14_enc_mujer/cd_congreso/archivos/resumenes/S1/S1-BYQ16.pdf
- Moro, A. (2015). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. En *AQM. Laboratorios*. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Mosquera Lenti, F. J. (2017). *Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en un suelo agrícola en el valle del Mantaro*. (Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Suelos). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2923/P33-M6-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Novillo, I. D., Carrillo, M. D., Cargua, J. E., Nabel, V., Albán, K. E., & Morales, F. L. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177-187, doi: <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Oficina Nacional de Normalización. (1999). *NC-ISO 10390:1999. Calidad del suelo. Determinación del pH, método potenciométrico*. La Habana: Autor.
- Oficina Nacional de Normalización. (1999). *Norma Cubana NC-ISO 11464:1999. Calidad del suelo. Pre tratamiento de las muestras para los análisis físico-químico*. La Habana: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). *El suelo es un recurso no renovable*. Recuperado el 12 de octubre de 2020, de: <http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>
- Paiz, N. H. (2019). *Estudio de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en tres sistemas de producción en UNAH-CURLA*. (Tesis de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Tegucigalpa. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://apps.iica.int/pccmca/docs/MT%20Recursos%20Naturales/Martes%2030%20abril/3-Estudio%20Propiedades%20F%C3%ADsicas,%20Qu%C3%ADmicas%20y%20Biol%C3%B3gicas%20Suelo.pdf>
- Quezada, A. J. (2020). *Efecto del manejo agrícola en parámetros físicos y químicos del suelo en diferentes agroecosistemas de la granja Santa Inés*. (Trabajo de Titulación, Ingeniería Agronómica). Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15554/1/TTUACA-2020-IA-DE00010.pdf>
- Ramírez-Soler, C. H., Magnitskiy, S., Melo, S. E., & Melgarejo, L. M. (2018). Efecto de dosis de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en etapa vegetativa. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 31-40, doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7469>
- Ramírez, R., Velásquez, D. C., & Acosta, E. (2007). Efecto de la aplicación de biosólidos en el crecimiento de *Jacaranda mimosifolia* (Gualanday) y en las condiciones físicas y

- químicas de un suelo degradado. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(1), 3751-3770. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24393/24991>
- Reyes, M. del R., Mora, O. F., Morales, E. J., & Pérez, D. de J. (2017). Influencia del magnesio y zinc en la altura de la planta y verdor de hojas en *Lilium*. *Investigación y Ciencia*, 25(70), 31-37. Recuperado el 25 de octubre de 2020, de: <https://www.redalyc.org/pdf/674/67451351004.pdf>
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero, H. M. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Palmas*, 37(1), 11-23. Recuperado el 22 de octubre de 2020, de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11696>
- Rodríguez Parisca, O. S. (2018). *Conservación de suelos y agua. Una premisa del desarrollo sustentable*. Maracay, Venezuela: Editorial Digital CDCH-UCV. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://saber.ucv.ve/omp/index.php/editorialucv/catalog/view/11/7/44-1>
- Sadeghian Khalajabadi, S. (2012). *Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (Coffea arabica L.) en la etapa de almácigo*. (Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Snigdha, T. R., Sandeep, S. S., & Jerry, Y. (2018). Magnesium Balance and Measurement. *Advanced Chronic Kidney Disease*, 25(3), 224-229, doi: <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2018.03.002>
- Soto, M. A. (2015). *Análisis de indicadores de la calidad del suelo para la evaluación de la efectividad de la estrategia de restauración realizada en el corredor Barbas-Bremen, Filandia-Quindío*. (Trabajo de grado, Título de Biólogo), Universidad ICESI, Cali, Colombia. Recuperado el 24 de octubre de 2020 de: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/78072/1/soto_analisis_indicadores_2014.pdf
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos*. Tegucigalpa, Honduras: IICA. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3108/1/BVE17069071e.pdf>
- Valenzuela, I. G., & Visconti, E. F. (2018). Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), 233-243, doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7349>
- Wolff, M., & Ovalle, C. (2016). *El Secuestro de carbono en los suelos. Importancia de la Materia Orgánica del Suelo (MOS)*. Revisado 20 de octubre de 2020, de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40548.pdf>
- Yfran, M de las M., Chabbal, M. D., Píccoli, A. B., Giménez, L. I., Rodríguez, V. A., & Martínez, G. C. (2017). Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina 'Nova'. *Cultivos tropicales*, 38(4), 22-29. Recuperado el 24 de octubre de 2020, de: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n4/ctr07417.pdf>