

Mineralogía y química de las arcillas en suelos Pardos y Vertisoles del Oriente de Cuba

Mineralogy and chemistry of the clays in Brown and Vertisol soils of East of Cuba



<https://cu-id.com/2284/v14n2e04>

✉ Yakelin Cobo-Vidal^{1*}, ✉ Elio Angarica-Baró^{II}, ✉ George Martín-Gutiérrez^I,
✉ Adrián Serrano-Gutiérrez^I, ✉ Alegna Rodríguez-Fajardo^{II}

^IInstituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Mayarí, Holguín, Cuba.

^{II}Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN: El estudio de la composición química y mineralógica de los suelos agrícolas es esencial para conocer su proceso de formación, las características asociadas a la fertilidad y a la retención de nutrientes como fundamentos para orientar su uso y manejo. Con este objetivo se evaluaron suelos Pardos Sialíticos y Vertisoles representativos de la Región Oriental de Cuba. Se utilizó la técnica de difracción de rayos X (DRX) para determinar la composición mineralógica y química de las arcillas predominantes. Se calcularon los óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y las relaciones moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ para caracterizar los suelos. Los minerales predominantes en los suelos Pardos fueron en ese orden calcita, cuarzo, montmorillonita y anortita, en tanto, en los Vertisoles se detectó cuarzo, albita y vermiculita muy resistentes a la meteorización. La distribución vertical de los minerales muestra un grado de evolución uniforme de la roca madre. La secuencia de los óxidos lábiles ($\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$) corroboraron el origen sialítico de los perfiles de suelo asociado al predominio de minerales 2:1. La distribución uniforme de los elementos totales en todos los perfiles muestra un origen litogénico.

Palabras clave: composición mineralógica, relaciones moleculares, perfil de suelo.

ABSTRACT: The study of the chemical and mineralogical composition of the agricultural soils is essential to know its process of formation, and the characteristics associated to the fertility and to the retention of nutrients as foundations for conduct its use and management. With this objective are evaluated Brown sialitic and Vertisols soils representative of the eastern region of Cuba. The technique of X-rays diffraction (DRX) was used for determine the mineralogical and chemistry composition of the predominant soils. Were calculated the oxides SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and the molecular relations $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{SiO}_2 / \text{R}_2\text{O}_3$ for characterize the soils. The predominant minerals in the Brown soils were in that order: calcite, quartz, montmorillonite and anortite. In the Vertisols were detected quartz, albite and vermiculite that are very resistant to the meteorism. The vertical distribution of the minerals show a degree of evolution uniform of the parent rocks. The sequence of free oxides ($\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$) corroborated the sialitic origin of the soil profiles, associated with the predominance of minerals in a relation 2:1. The uniform distribution of the total of elements in all the profiles shows a lithogenic origin.

Keywords: Mineralogical Composition, Molecular Relations, Soil Profile.

INTRODUCCIÓN

Las provincias orientales de Cuba destinan una considerable extensión de su área agrícola a la producción de caña de azúcar, plantadas fundamentalmente en suelos Pardos Sialíticos y Vertisoles. Los suelos Pardos se forman en las zonas altas del relieve, generalmente onduladas, con materiales transportados, calizas semiduras y areniscas con diferente grado de carbonatación. Son abundantes

en topografía ligeramente alomada como algunas zonas de Guantánamo, áreas aledañas a la Sierra Maestra, en regiones cerca de Santiago de Cuba y el pie de monte de la Sierra Cristal. Los Vertisoles se localizan en el Valle Central de la extensa llanura del Cauto entre las elevaciones de Nipe y la Sierra Maestra, en la llanura de Nipe y Manzanillo, abarcan importantes áreas en las provincias Granma y Holguín ([Hernández-Jiménez et al., 2014](#)).

*Autora para correspondencia: Yakelin Cobo-Vidal, e-mail: yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu

Recibido: 10/10/2023

Aceptado: 20/02/2024

Los suelos han tenido un proceso de formación único y específico, que los hace particular y el contenido de cada tipo de mineral determina la clase de suelo y sus propiedades (Dalzell et al., 1991). No obstante, hay una tendencia general de la mineralogía hacia la formación de fases minerales estables, condicionado por el factor climático, la composición de las fases líquida y gaseosa en contacto con el suelo (Malagón, 1975).

Los minerales que componen el suelo pueden ser tan variados como la naturaleza de las rocas. Las arenas y limos están constituidos por material primario de difícil meteorización y los minerales de arcilla considerados secundarios derivan de la descomposición química de los minerales primarios formados por sales, alúmino-silicatos y óxidos e hidróxidos. La composición química de todo mineral de arcilla posee elementos constituyentes, elementos mayoritarios y minoritarios, entre otros, en proporciones variables. Se relacionan con las propiedades físicas como la conductividad hidráulica, adhesividad, plasticidad, contracción, expansión y los procesos de intercambio gaseoso que ocurren a nivel radical (Alvarado et al., 2014). En consecuencia, están estrechamente vinculados a la fertilidad física, química y la retención de nutrientes en el suelo (Kozłowski & Komisarek, 2017).

Cada vez se estudia menos el desarrollo completo del suelo, su génesis y evolución dentro del contexto biogeoquímico sin tener ningún interés en comprender la composición química y mineralógica, sus propiedades físicas y químicas y la dinámica evolutiva dentro de un marco definido por sus factores y procesos de formación (Macías 2015). Este aspecto es esencial para la comprensión de las características y el conocimiento de su origen, como fundamentos para orientar su uso y manejo, herramientas básicas para aumentar la producción agrícola. Por ello este trabajo ofrece información sobre la composición química y mineralógica de perfiles de suelos Pardos Sialíticos y Vertisoles representativos de la Región Oriental de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en suelos plantados con caña de azúcar de las provincias Santiago de Cuba y Holguín. Se estudiaron dos perfiles Pardos Sialíticos y tres Vertisoles procedentes de la Red Geográfica Experimental de INICA. Se clasificaron según la Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 (Hernández-Jiménez et al. (2019) y se correlacionaron con [Iuss Working Group WRB \(2015\)](#); [Soil Survey Staff \(2014\)](#) (Tabla 1)¹.

La composición mineralógica de la fracción arcilla (< 2 μ) se determinó mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX) (Brown & Brindley, 1980). Se realizó por el método de polvo con un Difractómetro X'PERT3 de PANalytical en la Unidad de Proyectos Laboratorio perteneciente al Centro de Investigaciones y Desarrollo del Níquel (CEDINIQ - Moa). Para el análisis cualitativo de fase se utilizó el programa *HighScore*. A través de la comparación de las distancias interplanares de los reflejos de difracción de cada muestra con las referencias de las bases de datos. El programa asigna un valor de coincidencia con las intensidades y la relación entre los picos de los difractogramas. Cada mineral produce un patrón de difracción característico que se manifiesta en un gráfico con una serie de picos del difractograma, cuya intensidad relativa (altura) depende de la proporción del mineral que está presente en la arcilla, lo que permite evaluar semicuantitativamente la composición mineralógica de éste (Mejia, 1980).

Se determinó la composición química total de las fases minerales predominantes en las arcillas, se calcularon los óxidos SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, las relaciones moleculares SiO₂/Al₂O₃, SiO₂/Fe₂O₃ y SiO₂/R₂O₃ para caracterizar los suelos. Se consideró la relación SiO₂/R₂O₃ > 2 para el grupo de las esmectitas y entre 1 y 2 para las caolinitas (Junco, 2001).

Para el cálculo del porcentaje de cada uno de los óxidos mencionados se dividió el contenido total entre su peso molecular, es decir: $\frac{SiO_2\%}{60,0}$, $\frac{Al_2O_3\%}{102,0}$, $\frac{Fe_2O_3\%}{159,7}$

TABLA 1. Correlación de la Clasificación de los Suelos de Cuba con [Soil Survey Staff \(2014\)](#) y con [IUSS Working Group WRB \(2015\)](#)

CSC (2015)	Soil Tax (2014)	WRB (2015)
Pardo Mullido Carbonatado (PMcarb)	Typic Haplustepts	Cambic Calcic Feozem
Pardo Vértico y Cálceo (PVcal)	Vertic Haplustepts	Vertic Calcic Cambisol
Vertisol Pélico Gléyico y Cálceo (VPGcal)	Aquic Calciustert	Pellic Gleyic Calcic Vertisols
Vertisol Crómico Cálceo (VCcal)	Chromic Calciusterts	Chromic Calcic Vertisols
Gleysol Vértico Agrogénico Carbonatado (GVAcarb)	Ustic Endoaquerts	Vertic Eutric Gleysols

CSC (2019): Clasificación de los Suelos de Cuba 2015 Hernández-Jiménez et al. (2019); [Iuss Working Group WRB \(2015\)](#); [Soil Survey Staff \(2014\)](#).

¹ Hernández-Jiménez et al. (2019). Correlación de la Clasificación de los Suelos de Cuba con [Iuss Working Group WRB \(2015\)](#); [Soil Survey Staff \(2014\)](#). Comunicación personal, diciembre de 2022.

y basado en el resultado se calcularon las relaciones moleculares: $\frac{SiO_2\%}{Al_2O_3\%}$, $\frac{SiO_2\%}{Fe_2O_3\%}$ y $\frac{SiO_2\%}{R_2O_3\%}$ (donde $R_2O_3 = Al_2O_3 + Fe_2O_3$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

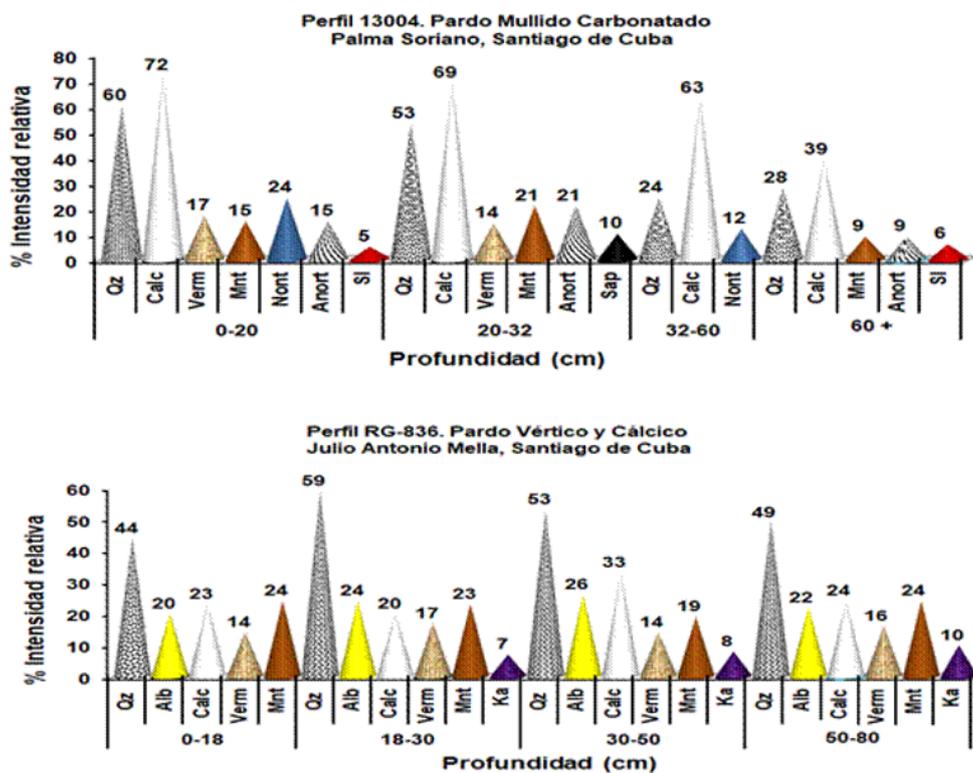
Composición mineralógica

En el análisis mineralógico de los suelos estudiados se observó similitud en la composición de algunos minerales, en cambio, las diferencias se manifestaron por la posición en el relieve y en el desarrollo de los procesos de transporte y acumulación de los residuos meteorizados. La distribución vertical de los minerales permitió definir que la roca madre presenta un grado de evolución uniforme en el perfil de suelo. En general, las fases predominantes fueron los silicatos de magnesio (vermiculita y saponita), los de sodio (albita y montmorillonita) y compuestos de calcio (calcita y anortita).

El cuarzo resultó el mineral más común y abundante en todos los perfiles, es muy resistente a los procesos de meteorización química y proviene esencialmente de la alteración físico-mecánica de las rocas. En las planicies aluviales del río Portuguesa en Venezuela, su persistencia en la fracción arcillosa tiene origen detrítico.

La presencia de calcita, fundamentalmente en el perfil PMcarb está asociada a las calizas sedimentarias de origen pedogenético, que presentan en su constitución Fe y Mn como mezclas isomorfas, así como Zn, Co y Ni como impurezas (Lanfranco et al., 2014). La albita (plagioclasa sódica) es un mineral muy resistente debido a la elevada proporción Si/Al, que se detectó en todas las profundidades del PVcal. En cambio, donde no hubo albita, se identificó la anortita (plagioclasa cálcica), asociada con la carbonatación del perfil PMcarb (Figura 1).

Del mismo modo, se observó vermiculita con mayor frecuencia en el perfil PVcal. Arias et al. (2010) observó en suelos aluviales de las llanuras del Caribe en Puerto Rico, que la vermiculita y la montmorillonita se encontraron casi en iguales proporciones, similar a los resultados obtenidos en este estudio. En el PMcarb, también se reconoció la nontronita y pequeños restos de saponita ligada a la presencia de silicatos de Mg y Na que adsorben elementos metálicos entre ellos Co, Cu y Zn, debido a su capacidad para retener cationes divalentes en soluciones acuosas (Guerra et al., 2016). La caolinita encontrada en el perfil PVcal proviene del efecto detrítico de los suelos de la Sierra Cristal con altos contenidos de Al y Mg o por los procesos de transformación *in situ*. Pereyra-Fernando & Torres-



Leyenda: Qz-Cuarzo, Calc-Calcita, Alb-Albita, Verm-Vermiculita, Mnt- Montmorillonita, Ka-Caolinita, Sap-Saponita, Anort-Anortita, Nont-Nontronita, SI- Silicato.

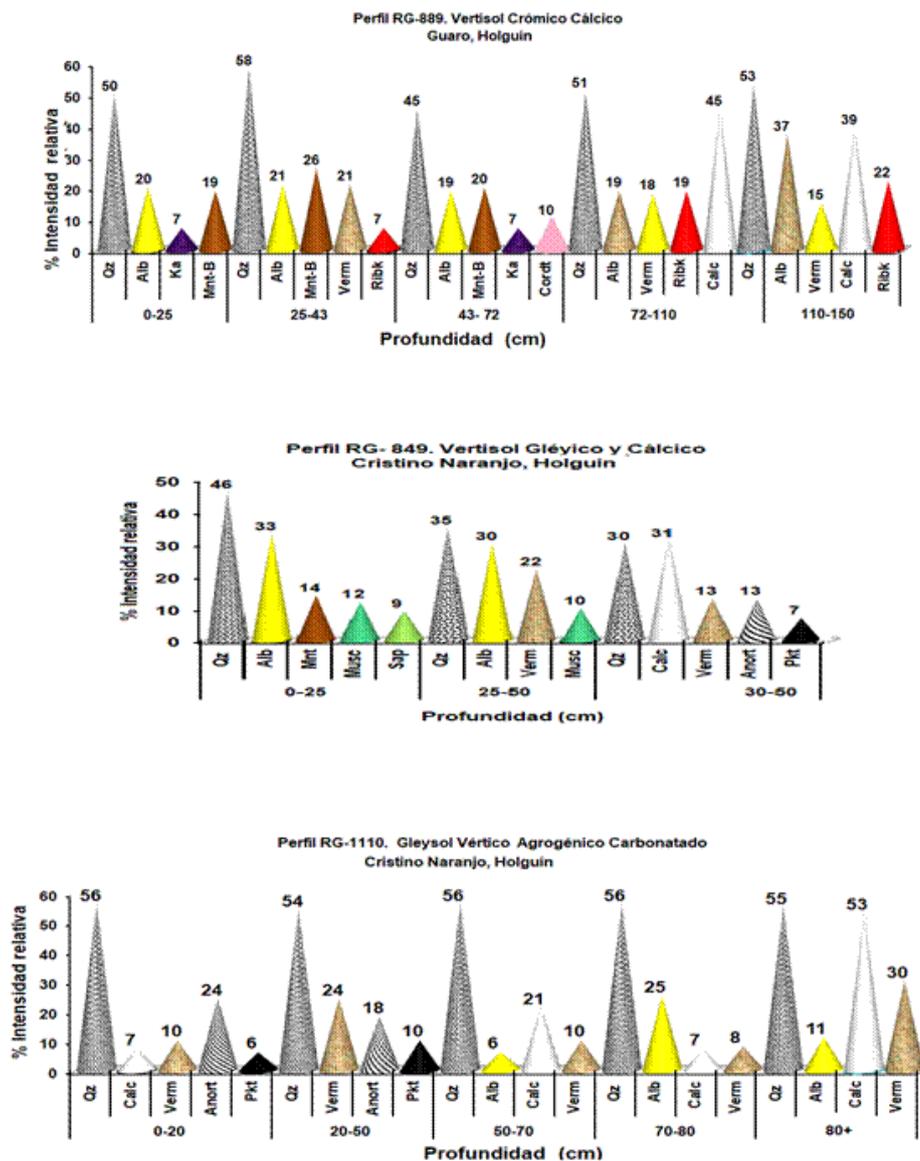
FIGURA 1. Composición mineralógica de las arcillas (DRX) en perfiles de suelos Pardo Mullido Carbonatado y Pardo Vértico y Cálcico.

Duggan (2016) afirman que la acumulación detrítica de minerales previamente formados sin ninguna modificación es frecuente en el proceso de formación de las arcillas.

El orden de representatividad de los minerales detectados en los suelos Pardos Sialíticos se corresponde con el grado de evolución y la uniformidad en la distribución de las fases mineralógicas con ligera disminución en profundidad. Así, el PMcarb mostró un mayor grado de evolución con una secuencia de Calcita > Cuarzo > Montmorillonita > Anortita > Vermiculita y en el perfil PVcal se observó el predominio de minerales resistentes a través de todo el perfil como es el Cuarzo > Albita > Calcita > Montmorillonita > Vermiculita

que los ubica en una zona de transición hacia los suelos vérticos.

Los Vertisoles poseen una compleja y lenta vertisolación del perfil relacionado con el elevado contenido de cuarzo y la formación de montmorillonita-bentonita (Figura 2). La albita fue identificada en todo el perfil del VCcal, así como en algunas profundidades del VPGcal y el GVAcarb. En el VPGcal se evidenció la presencia de moscovita en zonas de topografía baja, asociada a los procesos de erosión y depósito de sedimentos que es un mineral muy resistente y solo se altera en condiciones de intensa meteorización. En los tres tipos de suelo se observó el cuarzo y la albita, que son minerales resistentes de escasa variación durante el proceso de



Leyenda: Qz-Cuarzo, Calc-Calcita, Alb-Albita, Verm-Vermiculita, Mnt- Montmorillonita, Mnt-B- Montmorillonita-bentonita, Ka-Caolinita, Anort-Anortita, Nont-Nontronita, Pkt-Paligorskita, Musc- Moscovita, Ribk - Riebeckita, Cordt- Cordierita

FIGURA 2. Composición mineralógica de las arcillas (DRX) en perfiles de suelos Vertisol Crómico Cálxico, Vertisol Gléyico y Cálxico y Gleysol Vértico Agrogénico Carbonatado.

formación de suelo. La presencia de vermiculita estuvo relacionada con zonas de meteorización mínima, de acuerdo con [Pereyra-Fernando & Torres-Duggan \(2016\)](#) y en bajas proporciones existió la calcita, dada por los sedimentos arcillosos carbonatados ([Hernández-Jiménez et al., 2014](#)).

En el perfil GVAcarb, se observó la paligorskita de reacción neutra o alcalina a 50 cm de profundidad, asociada a condiciones bajas del relieve y régimen de clima alternante, que favorece en ocasiones la formación de sales. [Kabata-Pendias & Mukherjee \(2011\)](#) plantea que este mineral es producto de la alteración de silicatos de Mg en sedimentos de llanuras aluviales, donde ocurre la retención preferencial del Mg sobre el Na y el Ca. [Bouza & del Valle \(2014\)](#) afirmaron que el resultado de una neoformación de las esmectitas y del cuarzo en su lugar de origen liberan Si, Al y Mg en un medio con alta actividad del Si y el Mg.

Los vestigios de caolinita en el suelo VCcal se forman a partir de los procesos de erosión y transporte desde zonas altas que dan lugar a depósitos aluviales. A similares consideraciones arribaron González *et al.* (2014) cuando plantearon que estos minerales se forman por neoformación de suelos ricos en Si, Ca, Mg y Fe, en condiciones de topografía baja y mal drenaje. Otros minerales como la riebeckita de elevado contenido de Fe, se localizó en varios horizontes formados a partir de la deformación de minerales preexistentes, así como la cordierita que es un silicato de Mg, ambos de color gris o azul oscuro asociados con la profundidad del gley ([Dávila-Burga, 2011](#)).

Las disímiles condiciones en que ocurre la meteorización de los Vertisoles condicionan la presencia de minerales de escaso desarrollo distribuidos en todas las profundidades como: Cuarzo > Albita > Vermiculita en los tipos VPGcal y VCcal y Cuarzo > Albita > Vermiculita > Calcita en los GVAcarb. Las fases mineralógicas encontradas en pequeñas proporciones como caolinita, paligorskita, saponita, moscovita, riebeckita y cordierita se forman por herencia, neoformación, transformación de una fase cristalina en otra y por el aporte o eliminación de iones (sustitución isomórfica) de la estructura cristalina de las arcillas en el mismo lugar, de acuerdo con [Pereira-Fernando & Torres-Duggan \(2016\)](#).

Composición química de la fracción arcilla

La composición química de la fracción arcilla, sus óxidos y relaciones moleculares revelan los cambios con la profundidad de los procesos pedogenéticos que se presentan en el proceso de formación. El porcentaje de arcilla encontrada en los agrupamientos Pardos y Vertisoles corroboraron su carácter sialítico, debido a la secuencia de los óxidos lábiles de $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$, asociado al predominio de minerales 2:1. Estos resultados coinciden con los obtenidos por [Gómez-Samus et al. \(2017\)](#) en Vertisoles de Argentina, aunque estos se desarrollan en una zona continental de clima subtropical con abundantes precipitaciones y altas temperaturas que maximizan la evaporación ([Tabla 2](#)). En general, los elementos constituyentes Si, Al y Fe, sus óxidos y las relaciones moleculares en los perfiles del agrupamiento Pardos mostraron un

TABLA 2. Composición química de la fracción arcilla y relaciones moleculares en suelos Pardos y Vertisoles

Prof. (cm)	Suelo (Perfil)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	SiO ₂	SiO ₂
					Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃
%							
Palma Soriano, Santiago de Cuba							
0-20	PMcarb (13004)	42,93	13,93	4,79	5,23	23,82	4,29
20-32		46,40	14,67	5,03	5,40	24,62	4,43
32-50		44,99	14,29	4,78	5,34	25,02	4,40
Julio Antonio Mella, Santiago de Cuba							
0-18	PVcal (RG-836)	45,29	12,76	4,83	6,03	24,90	4,85
18-30		45,78	13,72	5,35	5,66	22,75	4,53
30-50		48,62	14,53	5,39	5,68	23,97	4,59
50-80		54,32	14,91	5,63	5,53	22,93	4,46
Cristino Naranjo, Holguín							
0-25	VPGcal (RG-849)	31,55	7,69	8,22	9,44	13,83	5,61
25-50		43,42	10,74	8,95	6,87	12,89	4,48
50-80		36,09	8,26	5,02	7,43	19,14	5,35
Guaro, Holguín							
0-25	VCcal (RG-889)	47,04	13,06	7,22	6,12	17,15	4,51
25-43		47,71	13,00	8,47	6,23	14,97	4,40
43-72		48,85	13,78	8,47	6,01	15,31	4,31
Cristino Naranjo, Holguín							
0-20	GVAcarb (RG-1110)	50,33	14,10	4,99	6,05	26,77	4,94
20-50		50,57	14,18	5,36	6,05	25,02	4,87
50-70		53,69	16,12	4,92	5,65	29,01	4,73
70-80		50,02	11,34	5,11	7,49	26,06	5,82

Leyenda: PVcal- Pardo Vértico y Cálxico, PMcarb- Pardo Mullido Carbonatado, VPGcal- Vertisol Pélico Gléyico y Cálxico, VCcal- Vertisol Crómico Cálxico, GVAcarb- Gleysol Vértico Agrogénico Carbonatado.

proceso de meteorización más avanzado y con mejores propiedades hidrofísicas respecto a los Vertisoles.

Se observó mayor acumulación de Fe_2O_3 en los Vertisoles del tipo VPGcal y VCcal, debido al pseudo gley formado por el ascenso capilar del agua freática. En el perfil GVAcarb la mayor acumulación de SiO_2 resalta el efecto de la gleyzación a través del perfil que se manifiesta en las relaciones moleculares. Al respecto, [Lanfranco et al. \(2014\)](#) plantearon que en presencia de una débil lixiviación del SiO_2 , la concentración resultante es suficiente para la formación de esmectitas, con retención de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ por adsorción.

Finalmente, la relación $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 > 2$ demostró que todos los suelos pertenecen al grupo de las esmectitas que promueven propiedades hidrofísicas desfavorables, procesos de contracción y dilatación con grietas profundas en período poco lluvioso que disminuyen la fertilidad física, dificultan la penetración radical ([Alvarado et al. 2014](#)) y en ocasiones limitan el rendimiento [Cid-Lazo et al. \(2016\)](#) y [Kozłowski & Komisarek \(2017\)](#).

El comportamiento de los elementos alcalinotérreos con predominio del Ca^{2+} en los perfiles de suelos Pardos Sialíticos, debido a la presencia de la calcita meteorizada y el Mg^{2+} en los Vertisoles corroboró su escaso desarrollo y condiciones hidrofísicas desfavorables. En los álcalis, el K^+ y Na^+ resultaron estables en la distribución en el perfil con mayor contenido en los subtipos PVcal y GVAcarb, mientras el Na^+ dominó en el escenario de los suelos vérticos con una alta mineralización del subtipo GVAcarb.

CONCLUSIONES

Los minerales predominantes en los suelos Pardos fueron en ese orden calcita, cuarzo, montmorillonita y anortita, en tanto, en los Vertisoles se detectó cuarzo, albita y vermiculita muy resistentes a la meteorización. La distribución vertical de los minerales muestra un grado de evolución uniforme de la roca madre. La composición química total promedio de la fracción arcilla poseen un 87,64 % de elementos constituyentes, 11,83 % de elementos mayoritarios y 0,53 % de elementos minoritarios. La secuencia de los óxidos lábiles ($\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$) corroboraron el origen sialítico de los perfiles de suelo asociado al predominio de minerales 2:1. La distribución uniforme de los elementos totales en todos los perfiles muestra un origen litogénico.

AGRADECIMIENTOS

El colectivo de autores agradece toda la colaboración brindada por el equipo de analistas del Laboratorio de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ-Moa) para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., Mata, R., & Chinchilla, M. (2014). Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: I. Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 75-106, ISSN: 0377-9424, Publisher: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>.
- Arias, F., Mata, R., Alvarado, A., Serrano, E., & Laguna, J. (2010). Mineralogía de la fracción arcilla de algunos suelos cultivados con banano en las llanuras aluviales del Caribe de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 34(2), 197-222, ISSN: 0377-9424, Publisher: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>.
- Bouza, P. J., & del Valle, H. F. (2014). *Propiedades y génesis de las acumulaciones de carbonatos en aridisoles del centro-este del Chubut* (Capítulo 8. Imbellone, Suelos con acumulaciones calcáreas y yesíferas de Argentina.). Ediciones INTA,.
- Brown, G. t., & Brindley, G. (1980). *X-ray diffraction procedures for clay mineral identification* (Brindley, GW y Brown, G. Brindley, GW y Brown, G. (ed.) Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification). Mineral Society Monograph No. 5. London, UK.
- Cid-Lazo, G., Herrera-Puebla, J., Bilir, T., & González-Robaina, F. (2016). Resultados de algunas investigaciones en suelos Vérticos de Cuba. *Ingeniería Agrícola*, 6(2), 51-56, ISSN-2306-1545, e-ISSN-2227-8761, Publisher: Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola.
- Dalzell, H. W., Bliddlestone, A. J., Gray, K. R., & Thuraijan, K. (1991). *Manejo del suelo: Producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales: Vol. Boletín de Suelos de la FAO 56* (Servicio de Recursos, manejo y conservación de suelos. Dirección de fomento de Tierras y Aguas, Roma). Food & Agriculture Org.
- Dávila-Burga, J. (2011). *Diccionario geológico*. INGEMMET. Perú.
- Gómez-Samus, M. L., Comerio, M., Boff, L. D., Montes, M. L., Ontivero, P. E., Mercader, R. C., & Bidegain, J. C. (2017). Minerales con hierro en arcillas vinculadas a la ingresión marina holocena en la llanura costera del estuario del Río de la Plata (Argentina): Implicancias paleoambientales. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 24(1), 61-83, ISSN: 1851-4979, Publisher: SciELO Argentina.
- Guerra, D. J., Goco, J., Nascimento, J., & Melo, I. (2016). Adsorption of divalent metals on natural and functionalized nontronite hybrid surfaces: An evidence of the chelate effect. *Journal of Saudi*

- Chemical Society*, 20, S552-S565, ISSN: 1319-6103, Publisher: Elsevier.
- Hernández-Jiménez, A., Llanes-Hernández, V., López-Pérez, D., & Rodríguez-Cabello, J. (2014). Características de vertisoles en áreas periféricas de La Habana. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 68-74, ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- Hernández-Jiménez, A., Pérez-Jiménez, J. M., Bosch-Infante, D., & Castro-Speck, N. (2019). La clasificación de suelos de Cuba: Énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*, 40(1), ISSN: 0258-5936, Publisher: Ediciones INCA.
- Iuss Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de Suelos* (p. 106). FAO, Roma, Italia.
- Junco, C. L. (2001). *Prácticas de Edafología* (p. 113). Departamento Producción Agropecuaria. Facultad Forestal y Agronomía. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2011). *Trace elements from soil to human* (4ta ed., edit. CRC Press.). Springer Science & Business Media.
- Kozłowski, M., & Komisarek, J. (2017). Groundwater chemistry and hydrogeochemical processes in a soil catena of the Poznan Lakeland, central Poland. *Journal of Elementology*, 22(2), ISSN: 1644-2296, Publisher: Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie/Polskie Towarzystwo
- Lanfranco, J. W., Pellegrini, A., & Cattani, V. M. (2014). *Contenidos de Edafología: Génesis, evolución y propiedades físico químicas del suelo* (1a ed. La Plata: Universidad Nacional de La Plata). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Malagón, C. (1975). Mineralogía de suelos: Sus relaciones con génesis, fertilidad y clasificación de suelos. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección Agrológica*, 11(1), 828.
- Mejia, L. (1980). *Conceptos básicos comunes a la pedología y geomorfología* (Ministerio de obras Públicas. Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF). Unidad de suelos y Agricultura, Serie 1). Ciaf.
- Pereyra-Fernando, X., & Torres-Duggan, M. (2016). *Suelos y geología argentina una visión integradora desde diferentes campos disciplinarios* (Imbellone, A. P., Aguilera, E.Y. y Beilinson, E. (Ed): Capítulo 3. Mineralogía de suelos). Ediciones INTA.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12 th Edition. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, DC). Government Printing Office.

Yakelin Cobo-Vidal, Dr.C., Investigadora Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Holguín, Guaro s/n carretera a Mayarí, Holguín, Cuba, teléf.: 24 596262.

Elio Angarica-Baró, Dr.C., Investigador Titular, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Santiago de Cuba, Los Coquito, Palma Soriano, Santiago de Cuba. Cuba. teléf.: 2250 2254, e-mail: elio.angarica@inicasz.cu.

George Martín-Gutiérrez, Ing., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín, Guaro s/n carretera a Mayarí, Holguín, Cuba, teléf.: 2459 6262. e-mail: george.martin@inicaahl.cu.

Adrián Serrano-Gutiérrez, MSc., Investigador Agregado, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Holguín, Guaro s/n carretera a Mayarí, Holguín. Cuba, teléf.: 24 596262, e-mail: adrian.serrano@inicaahl.cu.

Alegna Rodríguez-Fajardo, MSc., Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Departamento de Investigación e Innovación Tecnológica, Palma Soriano, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: alegna.rodriguez@inicasz.cu.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

AUTHOR CONTRIBUTIONS: Conceptualization: Yakelin Cobo-Vidal. **Formal Analysis:** Yakelin Cobo-Vidal, George Martín-Gutiérrez, Elio Angarica-Baró. **Investigation:** Yakelin Cobo-Vidal, George Martín-Gutiérrez, Elio Angarica-Baró, Adrián Serrano-Gutiérrez, Alegna Rodríguez-Fajardo, Yakelin Cobo-Vidal. **Supervision:** Yakelin Cobo-Vidal, George Martín-Gutiérrez. **Writing-original draft:** Yakelin Cobo-Vidal, Alegna Rodríguez-Fajardo, George Martín-Gutiérrez. **Writing - review & editing:** Yakelin Cobo-Vidal, Elio Angarica-Baró.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)