

Comportamiento de las fracciones activas del fósforo inorgánico en los vertisoles crómicos de Holguín

George Martín-Gutiérrez
Elio Angarica-Baró
Yunior Rodríguez-Ortíz
Juan Alejandro Villazón-Gómez
Yakelin Cobo-Vidal

Resumen

La investigación se realizó con la información de 40 perfiles de suelo de un vertisol crómico, en áreas cultivadas con caña de azúcar de la Empresa Azucarera Holguín. Se tomaron las determinaciones analíticas correspondientes a las fracciones activas del fósforo inorgánico (P-Ca, P-Fe, P-Al), fósforo total y fósforo asimilable por el método de Oniani, a las profundidades 0-25, 25-50, 50-75 y 75-100 cm. En los vertisoles crómicos se obtuvo un bajo nivel del P-total con una progresiva disminución hacia la profundidad. El predominio de la fracción P-Ca en estos suelos indica un bajo nivel de meteorización del perfil. Las fracciones P-Fe y P-Al disminuyen con la profundidad, a diferencia de P-Ca. La relación de las fracciones activas del fósforo inorgánico con el pH demostró que P-Ca aumenta a medida que lo hace el pH, mientras que para las fracciones P-Fe y P-Al la relación es inversa.

Palabras clave

Suelos; fósforo inorgánico; vertisol crómico; agricultura; caña de azúcar.

Behavior of active fractions of inorganic phosphorus in chromic vertisols, Holguín

Abstract

This investigation was conducted based on data on 40 soil profiles of chromic vertisols in areas from the Holguín-based Sugar Company where sugarcane is grown. The analytical determination of active fractions of inorganic phosphorus (P-Ca, P-Fe, P-Al), total phosphorus and assimilable phosphorus was carried out at depths ranging from 0-25, 25-50, 50-75 & 75-100 cm using the Oniani method. The investigation results show a low level of P-total with a progressive reduction with increase in depth. The predominance of P-Ca in these soils indicates a low degree of weathering. Unlike P-Ca, the P-Fe and P-Al fractions decrease as depth increases. The inorganic phosphorus active fraction-pH ratio indicates that P-Ca increases as pH increases while an inverse relationship occurs between P-Fe and P-Al and pH.

Keywords

Soils; inorganic phosphorus; chromic vertisols; agriculture; sugarcane.

1. INTRODUCCIÓN

Los contenidos de fósforo en los suelos de las franjas tropicales y subtropicales del planeta pueden ser muy variables debido al tipo de material parental, grado de desarrollo, contenido de materia orgánica y comportamiento de la textura (Cuéllar *et al.* 2002). El fósforo influye en la brotación, el desarrollo radical, la elongación de los tallos y el ahijamiento. Participa en los procesos de intercambio de energía, forma parte de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos y coenzimas respiratorias (Cuéllar *et al.* 2003).

La fracción de fósforo constituida por diversos iones ortofosfatos, cuya abundancia y tipo dependen, en gran medida, del pH del suelo, es aquella que puede ser utilizada por las plantas y los microorganismos de forma inmediata (Morel *et al.* 2000). Una parte considerable del fósforo total (P-total) se encuentra en forma de P-Ca, P-Al y P-Fe, los dos primeros constituyen una fuente importante de suministro de formas asimilables para la caña de azúcar. Según Cuéllar *et al.* (2002) las mayores reservas corresponden a los suelos ferralíticos y las menores a los sialíticos y vertisoles.

Villegas *et al.* (1981) plantean que, al ser el P-total la reserva potencial de este nutriente en el suelo, no debe emplearse para medir la efectividad de los fertilizantes fosfóricos, atendiendo a que algunos suelos, como los vérticos, muestran una alta disponibilidad, a pesar de poseer bajas reservas potenciales de este nutriente.

Villegas & Pérez (1979) indican la preferencia de las plantas por el fósforo nativo y, dentro de este, por los fosfatos ligados al Ca^{2+} y Al^{3+} , lo cual es corroborado más tarde por Angarica (1985), quien encuentra en los vertisoles una alta disponibilidad y sugiere relacionar el fósforo de las soluciones extractivas de Bray-Kurtz y Oniani, por ser las que mejor se correlacionan con los fosfatos predominantes (P-Ca y P-Al), los cuales gobiernan el régimen de disponibilidad fosfórica de estos suelos.

La denominada «fijación» de fósforo por los minerales y compuestos del suelo es, inicialmente, una reacción de intercambio que liga los fosfatos con grupos funcionales en las superficies de estos materiales (Sui & Thompson 2000; Frossard *et al.* 2000).

El objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento de los tenores de las fracciones activas del fósforo inorgánico en los vertisoles crómicos cultivados con caña de azúcar en la provincia de Holguín.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó con la información obtenida de 40 perfiles de vertisoles crómicos, según la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.* 1999), pertenecientes a la Red Geográfica Experimental del INICA y distribuidos en áreas cultivadas con caña de azúcar en la provincia de Holguín, asociadas con los experimentos de fertilización del cultivo. Estos han sido descritos por varios autores, desde Bennett & Allison (1966) hasta Angarica (2008) y más recientemente por Villazón *et al.* (com. esc. 2010) y han sido evaluados durante varios años para conocer la evolución geoquímica de estos suelos.

Se tomaron datos de las determinaciones analíticas de P-total; P-asimilable por el método de Oniani (P_2O_5 -Oni.), y las fracciones activas de los fosfatos inorgánicos (P-Ca, P-Fe, P-Al), a profundidades de 0-25, 25-50, 50-75 y 75-100 cm, además de la materia orgánica (M.O) y el pH en agua. Los métodos y soluciones extractivas se muestran en la Tabla 1.

Tabla1. Métodos analíticos empleados en la investigación

Determinaciones	Métodos	Unidades	Especificaciones
Materia orgánica	Walkely-Black	Porcentaje	R suelo Sol.1:2.5
pH (H ₂ O)	Potenciométrico	-log(H ⁺)	R suelo Sol.1:2.5
P-Asim.(Oniani)	Extrac. H ₂ SO ₄ 0,1N	Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹	Colorimetría
P-total	Digest. HClO ₄	Porcentaje	Colorimetría
P (Ca, Al y Fe)	Chang y Jackson	Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹	Colorimetría

Se determinaron los estadígrafos de dispersión y las correlaciones se definieron teniendo en cuenta las curvas de mejor ajuste, utilizando el software Statistica 8.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Tabla 2 se muestran los estadígrafos de dispersión de los contenidos de P-total en la superficie (0-25 cm); en general los valores medios muestran un contenido bajo y la variabilidad total indica una gran amplitud entre sus valores límites (0,01 % a 0,63 %).

Tabla 2. Estadígrafos de dispersión de las variables del régimen fosfórico de un vertisol crómico

Estadíg.	M.O.	pH(H ₂ O)	P-total	P ₂ O ₅ (Onia)	P-Ca	P-Fe	P-Al
	%	-log(H ⁺)	%	mg.100g ⁻¹	mg/Kg ⁻¹		
Media	2,17	8,00	0,06	13,60	111,20	14,30	8,00
Máx.	7,55	9,10	0,63	109,90	345,40	110,00	104,60
Mín.	0,28	6,45	0,01	0,34	10,00	0,50	0,50
C.V.	73,10	8,16	99,5	115,90	58,50	135,10	201,60
D. stand	1,58	0,65	0,03	15,80	65,00	19,40	16,20
Error	0,29	0,11	0,01	3,40	11,70	3,40	2,90

En la Figura 1 se exponen los efectos marcados de un alto fosfatamiento superficial, donde el fósforo representa el 47 % del contenido total en el perfil y disminuye hasta valores de 17 % en la parte más profunda. Aunque los análisis de correlación entre la materia orgánica y P-total solo mostraron una alta tendencia, queda claro que sus altos tenores en superficie, unido a las aplicaciones anuales de fertilizantes fosfóricos a la caña de azúcar, intervienen de forma significativa en tal comportamiento; resultados similares reportaron Villegas (1981), Fassbender & Bornemisza (1994) y Cuéllar *et al.* (2002) para suelos pardos sialíticos y vertisuelos.

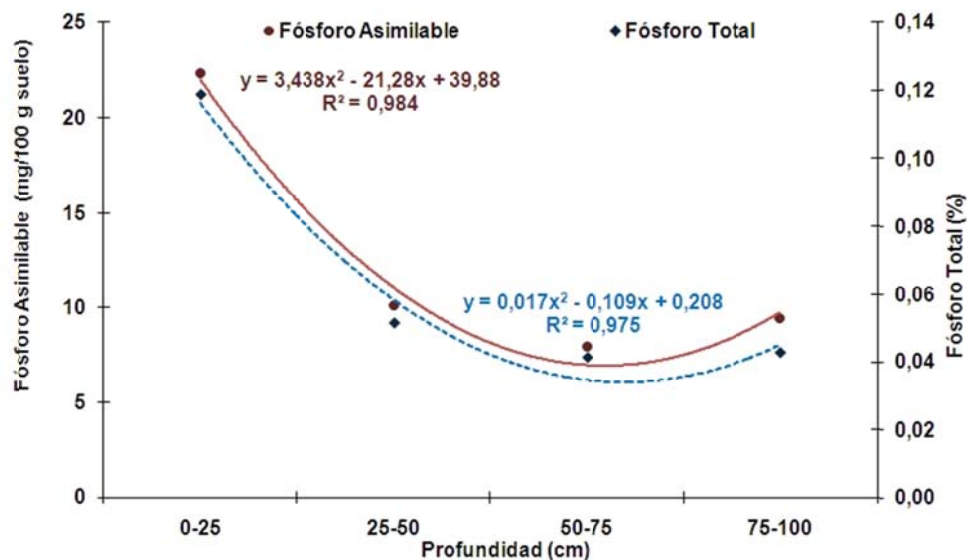


Figura 1. Curva de ajuste de la correlación de los valores del fósforo total y asimilable de la solución de Oniani con la profundidad de un suelo vertisol crómico.

A partir de los 50 cm se produce una estabilidad en el contenido de P-total que se encuentra muy relacionado con la disminución de la meteorización y el incremento de la humedad con presencia de gleyzación (Hernández *et al.* 1999). Chávez, en el año 2000 (citado por Cortegaza 2010), plantea que bajo estas condiciones la baja solubilidad del fosfato ferroso reduce los tenores del P-total.

Por las funciones del fósforo como elemento esencial para las plantas, su contenido asimilable en el suelo es un aspecto de vital importancia ya que determina la respuesta de la caña de azúcar y por tanto da criterios para el diagnóstico de la fertilización fosfórica.

El fósforo asimilable, determinado a partir del método de Oniani, en la superficie (0-25) alcanza valores entre 0,34 y 109,9, con una media de 13,6 mg.P₂O₅.100g⁻¹ (Figura 2), considerado muy alto, según Angarica (1985) e INICA (1999). El comportamiento en el perfil del P-asimilable que se muestra en la Tabla 1 es similar al de P-total, pero el carácter soluble de esta forma del fósforo interacciona con los fertilizantes aplicados a través de los procesos dinámicos de sorción y desorción de los fosfatos; la preferencia de las plantas por el fósforo nativo (Villegas & Pérez 1979) incrementa las formas disponibles en la solución del suelo, agudizando de esta forma el fosfatamiento superficial del suelo.

El P-asimilable presenta una correlación lineal e inversa con el incremento de los valores del pH (H₂O) con un $r = -0,50^{**}$ (Figura 2A). Al disminuir la acidez del suelo, los tenores de los fosfatos cálcicos de baja solubilidad se incrementan, como lo demostraron las bajas tendencias entre P-Ca y el pH (H₂O) ($r = -0,25$) y la alta relación con P-AL ($r = -0,62^{**}$; Figura 2B); esta última está determinada por la baja solubilidad del Al³⁺ a pH superiores a 4,5. El P-Fe no presentó correlación, es muy poco participativo en los procesos de actividad de los fosfatos en estos suelos, debido a sus bajos contenidos de sesquióxidos y minerales del tipo 1:1 (Villegas & Pérez 1979).

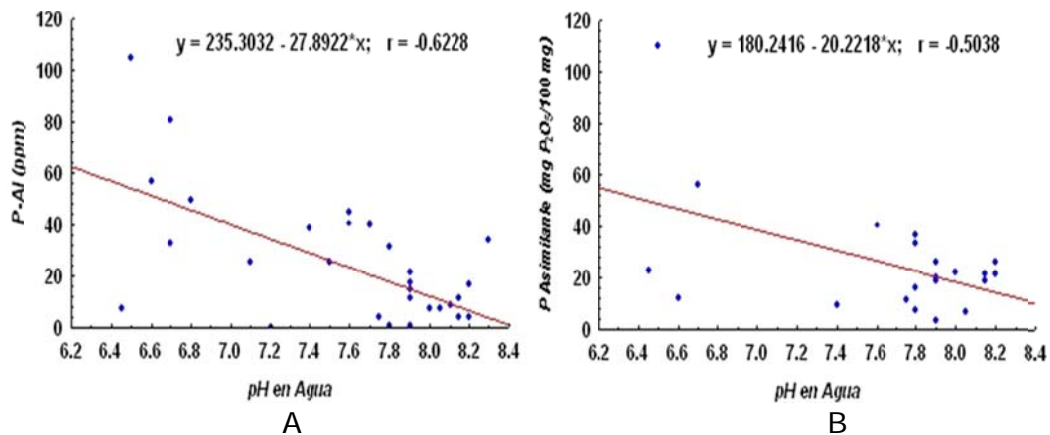


Figura 2. Comportamiento de las correlaciones del P-AI y P-Asimilable con los valores del pH (H₂O) en la superficie (0-25 cm) de un vertisuelo crómico holguinero.

Las relaciones entre el P-total y P-asimilable, y este último con las fracciones activas de los fosfatos, indican la potencialidad fosfórica del suelo y su participación de las fracciones en la nutrición de los cultivos. Los resultados obtenidos en el horizonte superficial de los vertisoles crómicos de los suelos cañeros de la provincia de Holguín indican correlaciones altamente significativas entre el P-total y el P-asimilable (0,77), y del P-asimilable con el P-Ca y P-AI, con 0,76 y 0,78, respectivamente. Sin embargo, el P-Fe no correlacionó, lo que evidencia que el mismo no constituye una fuente importante de formas asimilables para los cultivos.

La distribución o predominancia de las diferentes formas de fosfatos de Ca, Fe y AL depende del pH. Los productos de solubilidad de los fosfatos, los cationes presentes en este y el grado de meteorización, así como los contenidos y estadígrafos de dispersión de estas formas de fosfatos encontrados en la superficie de estos, que se exponen en la Tabla 2, indican que P-Ca representa el 83,3 % del total de fracciones, mientras P-Fe y P-AI representan solo el 6,0 % y 10,7 %, respectivamente. A diferencia de los suelos más evolucionados, reportados por Villegas & Pérez (1979), el P-Ca gobierna el régimen fosfórico de estos vertisuelos.

En la Figura 3 se observa una disminución de carácter polinomial del contenido de fracciones a medida que aumenta con la profundidad del perfil, similar a las de P-total y P-asimilable que le dieron origen. Esta disminución parece estar ligada a la atenuación de los procesos de meteorización, al alto contenido de humedad y al incremento de los valores del calcio, que provocan el aumento del P-Ca a partir

de los 50 cm; mientras los tenores de hierro y aluminio, con la alcalinización del perfil, se hacen menos frecuentes y avanza su disminución casi hasta los 100 cm, lo que coincide con los resultados reportados por Olsen & Khasawneh (1980) y estudios más específicos realizados por Angarica (1985) en vertisuelos grises amarillentos.

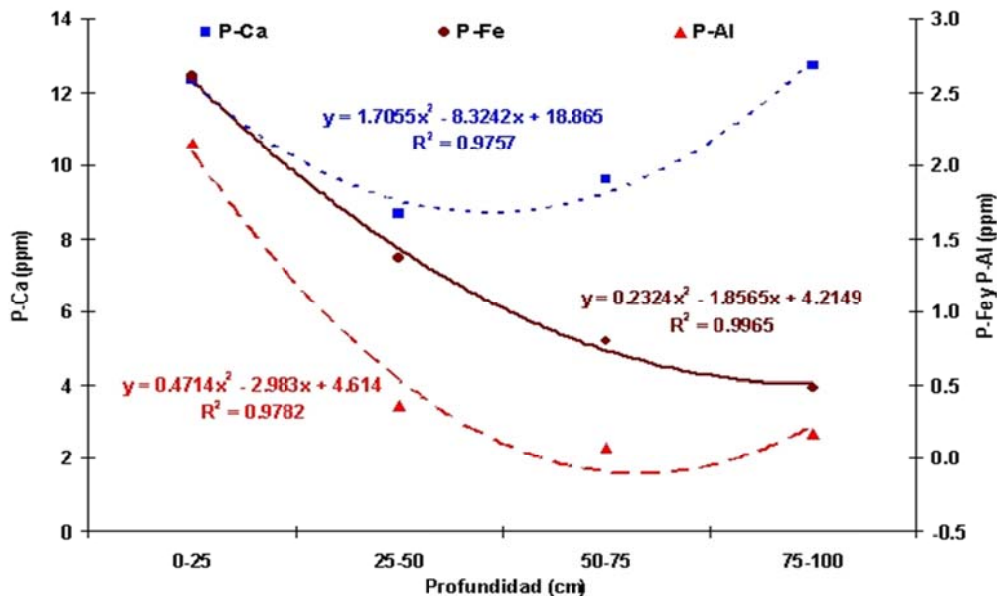


Figura 3. Curva de ajuste de la correlación de los valores de los fosfatos activos (P-Ca, P-Fe y P-Al) con la profundidad de un suelo vertisol crómico.

Villegas (1981) plantea que el aumento de la relación P-Fe: (P-Al+P-Ca) indica un incremento o una disminución, respectivamente, del grado de meteorización del suelo. En la Figura 4 se muestran las variaciones de las relaciones de las fracciones activas de fósforo inorgánico a través de los horizontes. Ambas relaciones demuestran que este es un suelo <joven>, poco intemperizado, con un predominio del P-Ca por la saturación del calcio en la solución del suelo y la poca meteorización de los horizontes inferiores.

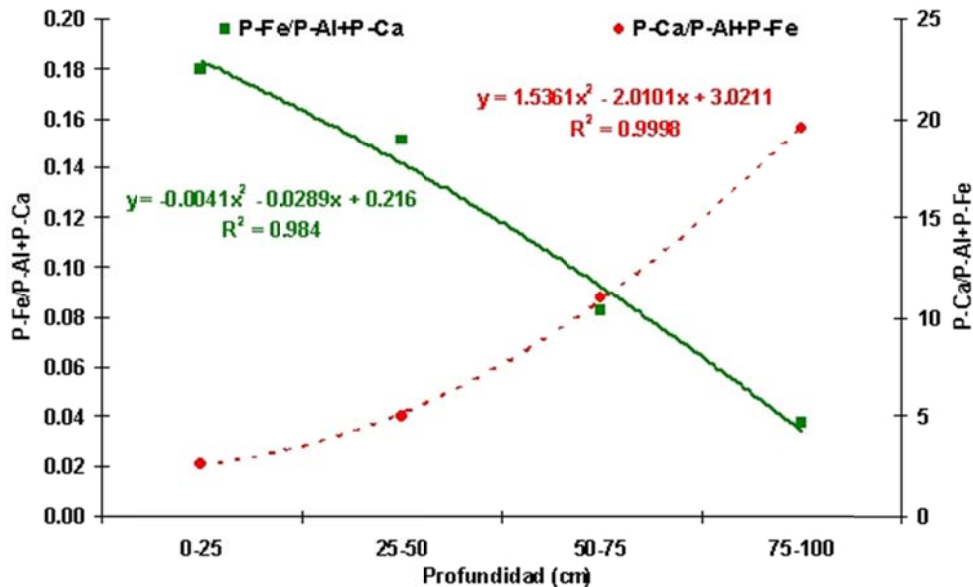


Figura 4. Curva de ajuste de las correlaciones de los valores del fósforo de las relaciones de los fosfatos $P\text{-Fe}/(P\text{-Al}+P\text{-Ca})^{-1}$ y $P\text{-Ca}/(P\text{-Al}+P\text{-Fe})^{-1}$ con la profundidad de un suelo vertisol crómico.

4. CONCLUSIONES

1. Los vertisoles crómicos estudiados mostraron una baja potencialidad fosfórica (P-total) con una alta disponibilidad y disminución de sus tenores con la profundidad del perfil.
2. El régimen fosfórico de estos suelos está gobernado por la fracción de los fosfatos ligados al Ca, que ocupa el 83,3 % del total de fracciones presentes; mientras P-Fe y P-Al alcanzaron solo el 10,6 % y 6 %, respectivamente, con una disminución significativa con la profundidad.
3. La relación de las fracciones activas con el pH de estos suelos, demostró que el P-Ca aumenta a medida que lo hace el pH, mientras P-Fe y P-Al disminuyen.
4. Las altas correlaciones entre P-total y P-Asimilable, y las de este último con P-Ca y P-Al, indicaron una gran armonía entre las fracciones que representan la alta disponibilidad fosfórica.
5. Los resultados indican que se trata de un suelo «joven», poco intemperizado y con poca meteorización de los horizontes inferiores.

REFERENCIAS

- ANGARICA, E. M. 1985: Caracterización agroquímica y uso de los fertilizantes en la caña de azúcar en suelos Oscuros Plásticos grises amarillentos de las Provincias Holguín y Santiago de Cuba. Tesis doctoral. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 105 p.
- ANGARICA, E. M. 2008: Manejo integrado de los Vertisuelos y Pardos Plastogénicos del valle del Cauto beneficiados con riego y drenaje superficial parcelario. Sus incidencias en el agroecosistemas cañero. Holguín, Cuba. 54 p.
- BENNETT, H. H. & ALLISON, R. V. 1966: Los suelos de Cuba. En: *Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba*. Edición Revolucionaria, La Habana, 500 p.
- BENNETT, H. H. 1966: Algunos nuevos suelos de Cuba. En: *Los suelos de Cuba. Algunos nuevos suelos de Cuba*. Edición Revolucionaria, La Habana, 500 p.
- Cortegaza Ávila, P. L. 2010: Perfeccionamiento de los Criterios para la Fertilización Fosfórica de la Caña de Azúcar en Cuba. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. 129 p.
- CORTEGAZA-ÁVILA, P. L.; MENÉNDEZ-SIERRA, A.; VILLEGAS-DELGADO, R.; REYES-PEÑATE, ANNERYS; DE LEÓN-ORTIZ, M.; BENÍTEZ-PUIG, LEDYA & ÁRCIA-PORRÚA, J. 2010: Contenido Total de P y de sus fracciones móviles en los principales suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Cuba. *Revista Cuba & Caña* 1: 36-42.
- CUELLAR-AYALA, I.; VILLEGAS-DELGADO, R.; DE LEÓN-ORTIZ, M.; GÓMEZ-RUIZ, A.; GÓMEZ-PIÑÓN, DOLORES & SANTANA-AGUILAR, I. 2003: *Caña de azúcar. Paradigma de sostenibilidad*. Ediciones Publinica, La Habana, 175 p.
- CUELLAR-AYALA, I.; VILLEGAS-DELGADO, R.; DE LEÓN-ORTIZ, M. & PÉREZ-IGLESIAS, H. 2002: *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*. Ediciones Publinica, La Habana, 127 p.
- FASSBENDER, H. & BORNEMISZA, E. 1994: *Química de suelos con énfasis en América Latina*. Servicio Editorial IICA, San José, 93-105 p.
- FROSSARD, E.; CONDRON, L. M.; OBERSON, A.; SINAJ, S.; FARDEAU, J. C. 2000: Processes governing phosphorus availability in temperate soils. *J. Environ. Qual.* 29: 15-23.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, M.; BOSCH-INFANTE, D.; RIVERO-RAMOS, L.; CAMACHO-DÍAZ, E.; RUIZ-CAREAGA, J.; JAIMÉZ-SALGADO, E.; MARSÁN-BARTOLOMÉ, R.; OBREGÓN-SANTOYO, A.; TORRES-FONT, J. M.; GONZÁLEZ-DE LA TORRE, J. E.; ORELLANA-GALLEGOS, R.; PANEQUE-PÉREZ, J.; MESA-NÁPOLES, A.; FUENTES-ALFONSO, E.; DURÁN-ÁLVAREZ, J. L.; PENA-VÉLEZ, J.; CID-LAZO, G.; PONCE-DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ-DÍAZ, M.;

- FRÓMETA-MILANÉS, E.; FERNÁNDEZ-PÉREZ, L.; GARCÉS-PÉREZ, N.; MORALES-DÍAZ, M.; SUÁREZ-ESTRADA, E.; MARTÍNEZ-OLIVA, E. & RUIZ-DE LEÓN, J. M. 1999: Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR. Ministerio de Agricultura. Ciudad de la Habana, 64 p.
- MOREL, C.; TUNNEY, H.; PLENET, D. & PELLERIN, S. 2000: Transfer of phosphate ions between soil and solution. Perspectives in soil testing. *J. Environ. Qual.* 29: 50-59.
- OLSEN, S. R. & KHASAWNEH, F. E. 1980: Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. *In: Khasawneh, F. E.; Sample, E. C. and Kamprath, E. J. The role of phosphorus in agriculture.* ASA, CSSA and SSSA (eds), Madison, WI, p. 361-410.
- SUI, Y. & THOMPSON, M. L. 2000: Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 164-169.
- VILLEGAS-DELGADO, R. & PÉREZ, I. H. 1979: Resultados experimentales obtenidos en la fertilización nitrogenada y fosfórica de la caña de azúcar. Parte II Fertilización fosfórica. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 32 p.
- VILLEGAS-DELGADO, R. 1981: El fósforo en los suelos y efectividad del empleo de los fertilizantes fosfóricos en la caña de azúcar en la República de Cuba. Tesis doctoral. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 108 p.

George Martín-Gutiérrezgeorge.martin@epicahl.azcuba.cu

Investigador Agregado. Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín Guaro, s/n. Mayarí. Holguín.

Elio Angarica-Baróangarica@etica.ciges.inf.cu

Investigador Auxiliar. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Oriente Sur Los Coquitos. Palma Soriano. Santiago de Cuba.

Yunior Rodríguez-Ortíz

Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín Guaro, s/n. Mayarí. Holguín. Juan Alejandro

Yakelin Cobo-Vidal

Investigador Agregado. Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín Guaro, s/n. Mayarí. Holguín.