


Artículo original

Cambios de ph en suelos pardos de cuba cuando se erosionan

Alberto Hernández-Jiménez^{1*} 

Violeta Llanes-Hernández² 

Elein Terry-Alfonso¹ 

Greter Carnero-Lazo¹ 

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

Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional. San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba

*Autor para correspondencia: ahj@inca.edu.cu

RESUMEN

En los últimos 15 años se viene planteando en Cuba que el proceso de degradación de los suelos por acidificación ocurre con cierta intensidad. Se plantea que el 40 % del territorio está afectado por este proceso y se pronostica que hay un incremento del mismo de 2,9 % anualmente. Además, que con la erosión se acidifican los suelos. En este trabajo se demuestra que la acidificación por erosión solamente ocurre en Cuba en los suelos del Agrupamiento Alítico, ya que el horizonte B tiene un contenido alto en aluminio cambiante y pH igual o menor de 4,5. Pero estos suelos son poco extensivos en Cuba donde ocupan solamente 5 % del territorio nacional. El principal objetivo lo constituye el demostrar que en los suelos del Agrupamiento Pardos Sialíticos (que son los más extensivos de Cuba, 21 % del territorio), aumenta el pH en profundidad, por lo que cuando se erosionan no se acidifican, sino que aumenta el pH. Estos resultados demuestran que el proceso de acidificación tan intenso para los suelos de Cuba, como se plantea en algunos trabajos, no ocurre realmente.

Palabras clave: acidez, degradación del suelo, reacción del suelo

Recibido: 14/03/2019

Aceptado: 24/04/2020

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes retos que tiene la agricultura actualmente consiste en garantizar la seguridad alimentaria de la población. Para esto es necesario poder contar con suelos que tengan condiciones apropiadas para mantener la producción agrícola en forma sostenible ⁽¹⁾. La acidificación de los suelos es uno de los procesos negativos que limitan su productividad. Puede ocurrir en forma natural y antropogénica. En forma natural tiene lugar en las regiones tropicales por la evolución del suelo, debido a las transformaciones químico-mineralógicas que ocurren por el intemperismo, en el tiempo y espacio, con las etapas de formación sialitización, fersialitización, ferralitización y alitización, reconocidas por la Clasificación de Suelos de Cuba ⁽²⁾. En el proceso de alitización, los suelos adquieren un porcentaje mayor de 50 % por el aluminio cambiante, lo que ha provocado que en los últimos años sean clasificados en forma independiente al primer nivel en clasificaciones de suelos; como suelos Alíticos como en la Clasificación de Suelos de Cuba ⁽¹⁾, Alisoles como en la clasificación de suelos del World Reference Base ⁽³⁾ o a nivel de Grande Grupo como es en la Clasificación Brasileña de los Suelos ⁽⁴⁾.

Estos suelos, en regiones tropicales, por la presencia de altas cantidades de aluminio cambiante, conlleva a limitaciones en el desarrollo adecuado de los cultivos como *trigo* (*Triticum aestivum*) y arroz (*Oriza sativa*); ya que se produce una fijación muy alta del P₂O₅ asimilable, limitaciones para el desarrollo de los microorganismos, toxicidad creada por el aluminio ya que provoca el desarrollo anormal de las raíces y condiciones de pH que limitan la asimilación de los nutrientes ^(5,6).

Otra forma natural de acidificación de los suelos ocurre en los países templados más lluviosos con las pérdidas de bases en el complejo de intercambio se produce la saturación por hidrógeno, con la disminución del pH del suelo. Este tipo de acidez es menos dañina que en el caso de la alitización.

En México, se le presta gran atención al problema de la acidez del suelo y su influencia negativa en la agricultura. Se ha determinado que 7 % de la superficie del país (14 millones de ha) posee suelos con pH igual o menor que 6,5 y que el área bajo cultivo con suelos ácidos es aproximadamente 14 % de la superficie total bajo cultivo ⁽⁷⁾. La mayoría de estos suelos se ubican en las regiones tropicales como Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas.

Además, hay que tener en cuenta que México es un país donde el vulcanismo tiene gran influencia en la formación de los suelos y que las cenizas volcánicas en medio tropical húmedo evolucionan rápidamente dando lugar a la acumulación de aluminio cambiante en los suelos ⁽⁸⁾.

En Colombia también hay estudios con relación a la acidez del suelo en relación con el aluminio cambiante. Por ejemplo, una de las limitaciones más comunes en los suelos colombianos está relacionada con los fenómenos ocurridos por la acidez, lo cual, es consecuencia de la toxicidad generada, principalmente, por el aluminio intercambiable ^(9,10). Otros resultados sobre el efecto del aluminio en diferentes cultivos a nivel experimental de laboratorio, se obtiene, en el estudio del crecimiento y la morfología de la raíz de plantas tolerantes como el trigo (*Triticum aestivum*) y sensibles a altas concentraciones de aluminio y bajo valores del pH alrededor de 4,0 ⁽⁵⁾. Se pudo comprobar que el desarrollo de las raíces de las plantas de trigo (*Triticum aestivum*) fue en mayor cantidad y tamaño que las tolerantes. Igualmente se encontró en regiones tropicales altas cantidades de Al cambiante en un Oxisol altamente intemperizado ⁽¹¹⁾.

También en este país se estudia actualmente el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes para un cultivo muy importante para la región amazónica como es el cacao (*Theobroma cacao*) ⁽¹²⁾

Otros estudios están relacionados con el mejoramiento de suelos ácidos mediante el uso de diferentes materiales que conlleven a la disminución de la acidez del suelo ⁽⁹⁾.

En resumen, en los suelos tropicales la acidez es provocada por el proceso de intemperismo muy acentuado, que trae como consecuencia la formación de altas cantidades de aluminio cambiante, que conlleva a que los suelos sean de reacción muy ácida (pH menor de 4,5).

A pesar del carácter tóxico del aluminio en los suelos, hay resultados que muestran aspectos positivos en este elemento, cuando se aplica con roca fosfórica en el cultivo de la fresa (*Fragaria vesca*), pero en condiciones experimentales sin suelo. En este caso se le atribuye al aluminio una acción beneficiosa al solubilizar el fósforo de la roca fosfórica y elevar su nivel como nutriente disponible para la planta ⁽¹³⁾.

En Cuba, la concentración alta de aluminio cambiante y por tanto de acidez se encuentra en los suelos clasificados como Alíticos, para lo cual uno de los indicadores de la clasificación de estos suelos es la presencia de un pH igual o menor a 4,5, con un contenido de aluminio cambiante igual o mayor de 50 %. Este proceso se denomina alitización ⁽²⁾ y se manifiesta principalmente en el horizonte B y se ubican por lo general en las regiones más antiguas de formación de suelos de la Isla como las Alturas de Pizarras de Pinar del Río, Isla de la Juventud y en las regiones estables de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa, Sierra Maestra y Escambray.

Según algunos autores ⁽¹⁴⁾, la formación de suelos ácidos por influencia antropogénica tiene lugar cuando:

- Hay desarrollo de lluvias ácidas en países con alta industrialización
- Aplicación intensiva de fertilizantes residualmente ácidos como los nitratos y sulfatos
- Erosión en suelos que tengan pH ácido en la parte media e inferior del perfil

En los últimos años, se plantea que la acidificación de los suelos en Cuba ocurre intensamente con el proceso erosivo, lo que en nuestra opinión se manifiesta bien en los suelos Alíticos, pero se exagera en relación con la extensión de suelos degradados por la acidez (3,4 millones de ha; 40,3 % del territorio de Cuba) y con el estimado del crecimiento de la acidificación de los suelos para los próximos 15 años de 2,9 % del área agrícola ⁽¹⁵⁾. Incluso hay autores que afirman lo siguiente: “Entre los factores que más influyen en la acidificación de los suelos cubanos, se considera la erosión, pues se pierden grandes cantidades de suelo y con ello cuantiosas pérdidas de bases entre las cuales se destaca el calcio y el magnesio debido a su mayor abundancia relativa respecto al total de bases.

Esto provoca un aumento de la concentración de iones H^+ , disminuyendo los niveles de pH e incrementando la acidificación del suelo. Según datos del Instituto de Suelos el 51 % del área total de suelos ácidos está erosionado, lo cual es una evidencia de la incidencia del factor que se analiza ⁽¹⁶⁾.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se propone como objetivo demostrar que los suelos del Agrupamiento Pardo Sialítico, que son los más extensivos de Cuba (3 355 800 ha; 21 % del territorio ⁽¹⁷⁾) y muy susceptibles a la erosión, no se acidifican por el proceso erosivo, sino por el contrario, aumenta el pH con la profundidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron los resultados de caracterización de suelos Pardos de diferentes publicaciones ⁽¹⁸⁻²¹⁾.

De estos resultados se tomaron los datos de 71 perfiles de suelos Pardos Sialíticos, de ellos 52 de suelos Pardos y 19 del suelo Pardo Grisáceo (Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad de perfiles estudiados según el tipo de suelo y material de origen

Agrupamiento de Suelos	Tipo genético	Material de origen	No. de perfiles
PARDO	PARDO	Roca intermedia	12
SIALÍTICO		Roca básica y ultrabásica	18
		Roca con poco carbonatos	17
		Roca con mucho carbonatos	5
	PARDO GRISÁCEO	Roca ácida	19
		Total de perfiles	71

Los resultados analíticos que se muestran fueron determinados por los siguientes métodos analíticos.

- pH por potenciometría con la relación suelo agua 1:2
- Acidez cambiante por el método de Sokolov
- Bases cambiables por extracción con acetato de amonio
- Capacidad de cambio de bases por extracción con acetato de amonio y saturación con acetato de sodio
- Grado de saturación de bases por método de cálculo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La acidificación natural de los suelos es un proceso que ocurre en el tiempo por la acción del intemperismo, siendo más intensa en los climas tropicales sobre todo tropicales húmedos. En estudios llevados a cabo en Colombia, se plantea que la naturaleza de la acidez en suelos tropicales se produce por el intemperismo cuando se sustituyen las bases en las arcillas por el aluminio, siendo este elemento el causante de la acidez en la mayoría de los suelos tropicales ⁽¹⁰⁾.

Para los suelos de la Amazonía se afirma que: “Se conoce que los suelos ácidos se encuentran sobretodo en la franja tropical, los suelos amazónicos son ácidos, generalmente pobres en nutrientes y poseen un bajo potencial de retención, sobretodo de calcio, potasio y fósforo. Es así que, los suelos de la provincia Vaca Diez se caracterizan por su baja fertilidad, buen drenaje interno y externo, textura franca y franca arcillosa, buen drenaje superficial e interno, profundidad efectiva mayor a un metro, pH de muy ácido ^(3,7) a moderadamente ácido ^(5,6) y una capacidad de uso mayor para producción forestal ⁽²²⁾.”

A pesar que, se ha comprobado que la acidez por aluminio resulta tóxico para los suelos, hay resultados de aplicación del aluminio acompañado de roca fosfórica, para disolver el fósforo por acidez, en el cultivo de la fresa, aunque en condiciones de hidroponía ⁽¹²⁾.

En los momentos actuales en muchos textos se expone que la acidificación de los suelos está relacionado con la erosión y que muchos suelos al erosionarse se acidifican. Esto realmente puede ocurrir en suelos Alíticos. Como ejemplo, a continuación se presenta los datos de un perfil de suelo Alítico no erosionado (Tabla 2) estudiado en San Juan y Martínez, Pinar del Río ⁽²³⁾.

Tabla 2. Características de un perfil de suelo Alítico de Baja Actividad arcillosa de San Juan y Martínez, provincia Pinar del Río

Prof., cm	pH		Acidez cambiabile (cmol)			Bases cambiables (cmol)				S cmol	T cmol	GS (%)
	H ₂ O	KCl	Al ⁺³	H ⁺	Total	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺			
0-20	5,9	4,9	0,6	0,8	1,4	2,0	0,27	0,1	0,45	2,83	4,12	47,0
20-30	5,2	4,0	1,4	2,4	3,8	3,5	0,49	0,1	0,25	4,34	6,34	54,3
30-60	5,0	3,9	5,8	1,2	7,0	3,5	0,63	0,1	0,20	4,43	11,34	43,9
60-90	4,5	3,5	6,0	1,0	7,0	0,9	0,46	0,1	0,15	2,61	---	---

Otro perfil de suelo muy ácido en regiones premontañas de las Alturas de Pizarras en Pinar del Río, también muestra el enriquecimiento en acidez y aluminio cambiabile en la parte media e inferior del perfil (Tabla 3) (tomado de ⁽¹⁸⁾).

Tabla 3. Características de un suelo Alítico de Baja Actividad Arcillosa de las Alturas de Pizarras, en Pinar del Río

Prof., cm	pH		Acidez cambiabile (cmol)			Bases cambiables (cmol)				S cmol	T cmol	GS (%)
	H ₂ O	KCl	Al ⁺³	H ⁺	Total	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺			
0-15	4,9	4,1	4,11	0,37	4,48	1,04	0,66	0,15	0,30	2,15	11,78	18,3
15-30	4,8	4,2	4,75	0,37	5,12	0,43	0,52	0,07	0,10	1,12	10,08	11,1
30-60	4,7	4,2	9,26	0,26	9,52	0,24	0,29	0,05	0,07	0,65	11,16	5,8
60-90	4,6	3,8	18,56	0,43	18,99	0,59	0,98	0,27	0,14	1,92	19,90	9,6
90-110	4,7	3,7	17,52	0,44	17,86	0,28	0,19	0,36	0,19	1,02	20,71	4,9

Igualmente ocurre con los suelos Alíticos que se presentan en partes estables y antiguas de las regiones montañosas, como el perfil PDG-5, tomado en la Sierra Maestra (Tabla 4) ⁽²⁴⁾.

Tabla 4. Características de un suelo Alítico de Baja Actividad Arcillosa en la Sierra Maestra, Cuba

Prof., cm	pH		Acidez cambiabile (cmol)			Bases cambiabiles (cmol)				S	T	GS
	H ₂ O	KCl	Al ⁺³	H ⁺	Total	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	cmol	cmol	(%)
	Perfil PDG-5											
0-22	4,30	4,10	---	---	---	2,50	1,87	9,35	0,53	5,25	---	---
22-50	4,10	4,00	---	---	---	1,25	0,62	0,22	0,15	2,24	---	---
50-80	4,00	3,90	---	---	---	1,25	1,25	0,22	0,06	2,78	---	---
80-110	4,15	4,20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Como se puede observar en estos tres perfiles de suelos, presentan reacción muy ácida sobre todo en la parte media, con mucho aluminio cambiabile. Su formación es natural debido al proceso de alitización en el tiempo y espacio. Ellos si se erosionan, aumenta la acidez se presentan en la parte superior del perfil el horizonte B, más arcilloso y más ácido, con un contenido alto en aluminio cambiabile. Es decir, los suelos Alíticos se forman por un proceso natural de formación del suelo, denominado alitización ⁽¹⁾ y se distribuyen tanto en las Alturas de Pizarras, como en la parte de San Juan y Martínez en Pinar del Río, así como en los macizos montañosos de Cuba. Para ellos es común la acumulación de aluminio cambiabile en un porcentaje mayor o igual al 50 %, principalmente en la parte media e inferior del perfil; con reacción muy ácida.

Ellos por su naturaleza y las condiciones del relieve, son muy vulnerables a la erosión; así, que cuando se erosionen aumenta la acidez, debido a una acidificación relativa del suelo. Por tanto la acidificación de los suelos por la erosión es válido para los suelos Alíticos de Cuba. No obstante, no todos los suelos que se erosionan tienen este problema.

Para conocer si este problema es extensivo habría que determinar el área de suelos Alíticos erosionados, En este caso, en primer lugar, habría que ver qué superficie ocupan estos suelos en Cuba, puesto que muchos suelos montañosos no se cultivan y si se hacen es con el cultivo de café o cacao que son plantaciones permanentes que tienden a enriquecer el contenido de materia orgánica del suelo. Además, los suelos Alíticos ocupan superficies relativamente poco extensivas en Cuba.

No obstante, este mismo problema no se produce en los suelos Pardos Sialíticos, que resultan los más extensivos de Cuba, en relieves ondulado-alomado, premontañoso y montañoso ⁽¹⁷⁾. Hay que considerar en primer lugar el proceso de formación de estos suelos, que se denomina sialitización ⁽¹⁾. Por este proceso, la descomposición de los minerales primarios da lugar a la formación de arcilla, con bases como el calcio, magnesio, potasio y sodio en forma de

hidróxidos, que inicialmente conlleva a un pH alcalino, posteriormente con el clima y en el tiempo el suelo se lava, en parte de sílice y de bases siendo el pH menos alcalino. Lo más importante es la formación de arcilla del tipo de las esmectitas, en condiciones de pH entre 6,5 y 7,5. En las capas más profundas, con horizonte BC y C la intemperización es menos intensa por lo que el pH tiende a ser más alto.

Teniendo en cuenta lo anterior en este trabajo se analizan 71 perfiles de suelos del Agrupamiento Pardo Sialítico donde se incluyen los tipos Pardo y Pardo Grisáceo (Tabla 1). Se determinó el grado de erosión y su correspondencia con los valores de pH en cada uno de los tipos de estos suelos, en relación también con el tipo de material de origen. Estos resultados se exponen a continuación en la Tabla 5.

Los datos obtenidos muestran que, en todos los casos, con la profundidad aumenta o se mantiene casi igual el valor de pH en lugar de disminuir. Esto demuestra que, si estos suelos se erosionan, aumentan en el pH en lugar de disminuir, muy diferente a como se plantea, que con la erosión se aumenta la acidez del suelo ⁽¹⁶⁾.

Tabla 5. Valores de pH en suelos Pardos de Cuba, en relación con el grado de erosión

Tipo de Suelo	Tipo de material de origen	Grado de erosión	pH(H ₂ O)		
			Hor. A	Hor. B	Hor BC
Pardo	Roca intermedia	Sin erosión	6,56	6,60	7,15
		Suave	6,20	6,20	6,10
		Mediana	6,90	6,78	6,88
		Fuerte	6,80	6,75	6,84
		Muy fuerte	7,83	---	---
	Roca básica o ultrabásica	Sin erosión	6,26	6,53	6,68
		Suave	6,85	7,00	---
		Mediana	7,06	7,45	7,70
		Fuerte	6,53	7,03	7,40
		Muy fuerte	No	No	No
	Roca con poco a mediano contenido de carbonatos	Sin erosión	7,29	7,56	7,88
		Suave	6,77	7,75	7,91
		Mediana	---	---	---
		Fuerte	---	---	---
		Muy fuerte	Sin Hor A	Sin Hor B	7,89
Roca con contenido alto de carbonatos	Sin erosión	8,10	8,19	8,40	
	Suave	7,68	7,78	8,00	
	Mediana	---	---	---	
	Fuerte	---	---	---	
	Muy fuerte	Sin Hor A	8,10	8,50	

Para el caso del tipo genético de suelo Pardo Grisáceo, ellos se forman también por el proceso de sialitización, pero la edafogénesis ocurre en condiciones de un tipo de roca muy particular que lo constituyen las rocas ácidas (en Cuba principalmente las rocas granitoides), ricas en cuarzo, feldespatos y algunos anfíboles y piroxenos.

En esas condiciones bajo un clima tropical subhúmedo que tiene lugar en la mayoría de las llanuras de Cuba, en relieves relativamente jóvenes, el suelo se forma con acumulación de mucho cuarzo, que queda residual en forma de arena, mientras que los feldespatos y los anfíboles y piroxenos e intemperizan dando lugar a la formación de arcilla, y los hidróxidos correspondientes. La sílice no es tan abundante como en las rocas intermedias y básicas, y se forma arcilla del tipo 2:1 en combinación con 1:1, y el proceso de lavado tiende a ser más rápido por la composición mineralógica y la textura más ligera que adquiere el suelo en comparación con este mismo proceso sobre otros tipos de rocas formadoras de suelo.

No obstante, en profundidad, el suelo tiene un pH más alto que en superficie y no llega a acidificarse sino al contrario el pH se hace más alcalino. Por esto, al igual que con los suelos Pardos, si el suelo se erosiona, se vuelve más alcalino en lugar de hacerse más ácido. Los datos mostrados en la Tabla 6, demuestran lo anteriormente descrito, para los distintos grados de erosión que pueden presentarse en estos suelos.

Tabla 6. Valores de pH en suelos Pardos Grisáceos de Cuba, según el grado de erosión

Tipo de Suelo	Tipo de material de origen	Grado de erosión	pH(H ₂ O)		
			Hor. A	Hor. B	Hor. BC
Pardo	Roca ácida	Sin erosión	6,32	6,46	6,50
Grisáceo		Suave	6,36	6,33	6,86
		Mediana	6,50	6,68	7,03
		Fuerte	6,01	6,52	6,82
		Muy fuerte	6,32	6,46	6,50

Incluso actualmente se ha reconocido que en los suelos Ferralíticos Rojos y Rojos Lixiviados de la llamada “Llanura roja de la Habana” está aumentando el pH ⁽²⁵⁾; para lo cual se elaboró una hipótesis, fundamentada en la degradación del suelo por el cultivo continuado y el aumento de la temperatura media en las llanuras de Cuba, ha aumentado 0,9 °C en los últimos 60 años ⁽²⁶⁾.

Este problema del aumento del pH en suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Rojos Lixiviados, está afectando al cultivo del tabaco en las tierras de la Empresa Tabacalera Lázaro

Peña en Artemisa, por lo que se están realizando investigaciones para disminuir el pH en estos suelos aplicando turba ácida con muy buenos resultados ^(27,28).

Todo esto contradice lo que se argumenta sobre la acidificación desmesurada de los suelos en Cuba y el tenor de acidificación pronosticado para 15 años, como se planteó en el año 2001 ⁽¹⁵⁾.

CONCLUSIONES

- La acidificación de los suelos en Cuba ocurre en los suelos Alíticos en forma natural por el proceso de alitización y en forma antropogénica cuando se produce en ellos el proceso de erosión.
- Los suelos Pardos Sialíticos de Cuba, se forman por el proceso de sialitización, no se acidifican cuando se erosionan sino que en la mayoría de los casos aumenta el valor de pH, al contrario, de lo que ocurre con los suelos Alíticos.
- Por lo anterior, se demuestra que la acidificación por erosión en Cuba es reducida solamente a los suelos Alíticos que son poco extensivos, reducido solamente a áreas en regiones de Alturas de Pizarra en Pinar del Río, en algunas partes de la Isla de la Juventud y en las superficies estables antiguas de las regiones montañosas de Cuba.
- Los resultados de este trabajo demuestran que los datos relacionados con la degradación por acidificación en los suelos de Cuba, su pronóstico y el proceso que ocurre por la acidificación del suelo por erosión no son válidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hernández Jiménez A. Cambio de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de las llanuras cársicas de Cuba por el cultivo continuado y algunas buenas prácticas de manejo agrícola. In Varadero, Cuba.; 2018.
2. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas e Instituto de Suelos,; 2015 p. 91.
3. FAO. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resource reports No. 106. 2014;191.
4. Santos HG dos, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira VA de, Lumberras JF, Coelho MR, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. [Internet]. Brasília, DF:

- Embrapa, 2018.; 2018 [cited 28/04/2020]. Available from: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>
5. Iqbal MT. Efecto de la elevación de Al y pH en el crecimiento y la morfología de la raíz de plantas de trigo tolerantes y sensibles al Al en un suelo ácido. *Spanish Journal of Soil Science*. 2014;4(1).
 6. Álvarez I, Sam O, Reynaldo I, Testillano P, Risueño M. Efecto tóxico del ión Al^{3+} en el ápice radicular de dos cultivares cubanos de arroz (*Oryza sativa*). *Rev. Int. Contam. Ambie*. 2013;29(4):315–23.
 7. Zetina LR, Pastrana AL, Romero MJ, Jiménez CJ. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. *Libro técnico*. 2002;(10).
 8. Blum W, Schad P, Nortcliff S. *Essentials of Soil Science*. Gebr Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Stugart, Germany; 2018.
 9. Castro H, Munevar Ó. Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*. 2013;16(2):409–16.
 10. Sadeghian S. La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé); 2016 p. 11. (*Avances Técnicos* 466).
 11. Anda M, Shamsuddin J, Fauziah CI. Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks. *Catena*. 2015;124:147–61.
 12. Rosas-Patiño G, Puentes-Páramo YJ, Menjivar-Flores JC. Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2017;18(3):529–41.
 13. Tucuch Pérez MA, Hernández Pérez A, Valdez Aguilar LA, Pérez Arias GA, García Santiago JC, Alvarado Carrillo D. Aplicaciones de aluminio mantienen el crecimiento de fresa (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) suplementada con roca fosfórica en condiciones de cultivo sin suelo. *Terra Latinoamericana*. 2017;35(3):193–201.
 14. Hernández Jiménez A. Procesos de Degradación de los Suelos. In Mayabaque, Cuba.: Ediciones INCA; 2018 [cited 28/04/2020]. Available from: <http://doctorados.ugr.es/gaia/pages/conf/conf15>
 15. Instituto de Suelos. Programa Nacional de mejoramiento y conservación de suelos. Agrinfor La Habana; 2001. 39 p.

16. Aguilar Y, Castellanos N, Riverol M. Manejo ecológico del suelo. Funes, F. y LL Vázquez. *Avances de la Agroecología en Cuba*. 2016;77–105.
17. Hernández-Jiménez A, Pérez-Jiménez JM, Bosch-Infante D, Speck NC. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. *Cultivos Tropicales*. 2019;40(1).
18. Suelos I de. *Génesis y clasificación de los suelos de Cuba*. Editorial Academia La Habana; 1973.
19. Hernández A, Cárdenas A, Obregón A, Marrero A, Bosch D. Estudio de los suelos de la región de Campo Florido. *Serie Suelos*. 1973;18:1–57.
20. López D, Morell F, Hernández A, Balmaseda C. LA ROSITA I: CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS. *Cultivos Tropicales*. 2010;31(1):41–7.
21. Munyaradzi Manjoro. Propuesta de alternativas para el manejo ecológico y protección de los suelos en un pequeño agroecosistema de consumo [Tesis de Doctorado]. [La Habana, Cuba]: Universidad Agraria de la Habana .; 2001. 1–54 p.
22. Paredes SB, Zonta A. Desarrollo inicial de plantas de Cupuazú (*Theobroma grandiflorum*) con corrección de acidez del suelo y aplicación de micorrizas. *Revista Científica Agrociencias Amazonía*. 2015;24:23.
23. Hernández Jiménez A, Camacho E, Ancízar FA, Muñíz O. Texto explicativo de las características de los suelos de la Gira Occidental de Cuba. 1994.
24. Renda A. Características de los suelos montañosos de la Sierra Maestra. [Internet]. 1982 [cited 28/04/2020] p. 1–47. Available from: https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk03fm7CB2VMcat2UICbGaLglTTYN9w%3A1588253196386&ei=DNKqXuWEF-yf_Qbdma-oBA&q=Caracter%3%ADsticas+de+los+suelos+monta%3%BIosos+de+la+Sierra+Maestra.+1982&oq=Caracter%3%ADsticas+de+los+suelos+monta%3%BIosos+de+la+Sierra+Maestra.+1982&gs_lcp=CgZwc3ktYWlQAzoECAAQRzoHCCMQrgIQJ1DTfFjIigFgt40BaABwAngAgAGGAYgBhQWSAQMwLjWYAQCgAQGqAQdn d3Mtd2l6&scient=psy-ab&ved=0ahUKEwjlutWcoJDpAhXsT98KHd3MC0UQ4dUDCAs&uact=5
25. Hernández A, Morales M, Borges Y, Vargas D, Cabrera JA, Ascanio MO, et al. Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la «Llanura Roja de la Habana» por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su mejoramiento. Ed. Ediciones INCA; 2014. 1–156 p.

26. Planos Gutiérrez E, Rivero Vega R, Guevara Velazco V. Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. [Internet]. Primera Edición. 2013 [cited 28/04/2020]. 1–445 p. Available from: https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk00Z7WIlkJrBjZBjTM-F0W63TQ3anA%3A1588253215434&ei=H9KqXq-HGsK-ggfEuLSoCQ&q=Impacto+del+Cambio+Clim%C3%A1tico+y+Medidas+de+Adaptaci%C3%B3n+en+Cuba.+2013&oq=Impacto+del+Cambio+Clim%C3%A1tico+y+Medidas+de+Adaptaci%C3%B3n+en+Cuba.+2013&gs_lcp=CgZwc3ktYWIQAzoECAAQR1CIoGJYiKBiYJqlYmgAcAJ4AIABcYgBcZIBAzAuMZgBAKABAqABAaoBB2d3cy13aXo&sclient=psy-ab&ved=0ahUKEwjvkuCloJDpAhVCn-AKHUQcDZUQ4dUDCAs&uact=5
27. Cánepa Ramos Y, Trémols González AJ, González Mederos A, Hernández Jiménez A. Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa Lázaro Peña de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*. 2015;36(1):80–5.
28. Ricote O. Recuperación de la calidad comercial en el cultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) “Criollo-98” en la zona de Partido (Provincia Artemisa) mediante enmienda edáfica con turba ácida. [Tesis de Doctorado]. 2019.