



Cultivos Tropicales
ISSN: 1819-4087
Ediciones INCA

Rodríguez-Suárez, Leonardo; Falcón-Acosta, María del Carmen; Ordoñez-Sánchez, Yan Carlos
Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno
Cultivos Tropicales, vol. 41, núm. 2, e02, 2020, Abril-Junio
Ediciones INCA

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193264539002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

LUEN redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Artículo original

Caracterización de residuos sólidos para encalar y fertilizar portadores de calcio y nitrógeno

Leonardo Rodríguez-Suárez^{1*}

María del Carmen Falcón-Acosta²

Yan Carlos Ordoñez-Sánchez¹

¹Centro de Ingeniería e Investigación Química CIIQ. Vía Blanca s/n entre Infanta y Palatino, Cerro, La Habana, Cuba. Teléfono 7 648 91 88-92 ext. 112

²Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

* Autor para correspondencia: leonardo@ciiq.minem.cu

RESUMEN

El nitrato de calcio líquido se obtiene a partir de la reacción entre el ácido nítrico y el hidrato de cal, portadores de los nutrientes nitrógeno y calcio respectivamente; este último proveniente de las caleras de Holguín y Pinar del Río. La generación de residuos sólidos resulta, en la práctica, el mayor impacto ambiental de este proceso. Como parte del esfuerzo para minimizar este daño, se realizó esta investigación que caracterizó los residuos generados en el proceso de obtención de nitrato de calcio líquido, en la Empresa de Fertilizantes y Plaguicidas de Nuevitas en Camagüey, con el propósito de emplearlo como portadores de nutrientes al suelo. Se conoce que estos residuos aun contienen nutrientes fácilmente asimilables por las plantas, por lo que pueden ser utilizados como fertilizante o como enmienda agrícola. Se realizó la caracterización química de los residuos a partir de la NC 1121:2016, NC 1117:2016 y American Chemical Society Specifications. Se caracterizaron los dos residuos generados, el lodo que resulta después de la sedimentación y el sólido que permanece insoluble después de la reacción de neutralización. Los valores de nitrógeno y calcio que se obtuvieron para el residuo sólido son menores a los valores presentes en el lodo. A partir de los resultados de los análisis físicos químicos que se les hicieron a los residuos se permite recomendar el uso de los mismos en la agricultura.

Palabras clave: fertilizantes, enmiendas agrícolas, suelos ácidos, impacto ambiental, NPK

Recibido: 24/01/2019

Aceptado: 08/04/2020

INTRODUCCIÓN

La acidificación de los suelos es uno de los procesos negativos que limitan su productividad. En las regiones tropicales o subtropicales, donde las precipitaciones y temperaturas son elevadas los suelos generalmente son muy ácidos, esto provoca un desequilibrio catiónico por la lixiviación de base ⁽¹⁾. Existe un reemplazo de bases cambiables por iones de hidrógeno y aluminio debido a la percolación del agua, extracción de cationes básicos por las plantas y por el uso de fertilizantes ácidos ⁽²⁾.

La misma fuente indica que cuando los suelos son fuertemente ácidos pH=4,5-5,5 se incrementa notoriamente el contenido de aluminio, lo que provoca una serie de procesos químicos – físicos que afectan negativamente el crecimiento de las plantas, entre los cuales se pueden mencionar: (i) disminución de la actividad microbiana, especialmente la bacteriana; (ii) baja capacidad de intercambio catiónico; (c) cantidades reducidas de fósforo (P) calcio (Ca); magnesio (Mg), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) disponibles. Estudios recientes indican la influencia de la fertilización nitrogenada en el aumento de la acidez y la limitada eficiencia que tienen los fertilizantes aplicados a cultivos de café (*Coffea arabica* L.) en suelos con problemas de acidez ⁽³⁾. Este problema de acidez en cafetales ha sido contrarrestado con la aplicación de cal agrícola en dosis bajas (340 kg ha/año), lo cual incrementó la producción de café en un 15 % ⁽⁴⁾.

La elevada acidez de los suelos se ve muy influenciada por la actividad del hombre ⁽⁵⁾, siendo las lluvias ácidas una de estas manifestaciones. Sin embargo, otras investigaciones indican que no siempre se acidifican los suelos ⁽⁶⁾. En estas investigaciones se presentan resultados del aumento del pH en suelos Ferralíticos Rojos y Ferralíticos Rojos Lixiviados que está ocurriendo en los últimos 20-25 años, con una hipótesis que plantea que es debido a la degradación del suelo por el manejo agrícola continuado, conjuntamente con el aumento de la temperatura media de las llanuras de Cuba de 0,9 °C en los últimos 60 años. Este aumento de pH que está ocurriendo en estos suelos, también ocurre por la influencia agrogénica, junto con el cambio climático.

En Cuba este proceso resulta muy pernicioso para la agricultura debido, entre otros aspectos, al área que es afectada por algún tipo de acidez y a la desfavorable distribución agroproductiva de los suelos.

De acuerdo a cifras oficiales, el área afectada por la acidez en los suelos de Cuba, corresponde al 50,7 % de la superficie agrícola, tomando en consideración los valores de acidez para

$pH_{KCl} < 6$ y $pH_{KCl} < 4,6$. Significa que el 31 % de la superficie total del país está afectado por la acidez; es decir, 3,4 millones de hectáreas. Esta situación afecta a una parte importante de los suelos agrícolas del mundo, donde el 40 % son suelos ácidos con pH menor a 5,5 ⁽⁷⁾.

Cuando se analiza la clasificación agroproductiva de los suelos cubanos ⁽⁸⁾, se aprecia, junto con la acidez de los suelos, el grave problema de disponibilidad de suelos para los cultivos. Sólo el 33 % son clasificados como suelos muy productivos o productivos; el 21 % medianamente productivo y aproximadamente la mitad, el 46 %, como poco productivos.

El pH del agua de riego es otro factor a tener en consideración, este debe estar entre 5,5-7,0 al igual que el pH del suelo ⁽⁹⁾. Un pH menor que 5,5 en el suelo aumenta los niveles de Al^{+3} . El H^+ intercambiable es la fuente principal de H^+ hasta que el pH del suelo llega a 5,3 cuando el Al^{+3} de las láminas octaédricas de las arcillas se vuelve inestable y es absorbido como Al^{+3} intercambiable ⁽¹⁰⁾, siendo la toxicidad a este elemento el factor limitante de crecimiento más importante en los suelos ácidos ⁽¹¹⁾. Por otro lado, en presencia de pH superior a 7,5 se limita la capacidad de absorción de hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) ⁽¹²⁾.

En la Empresa de Fertilizantes y Plaguicidas de Nuevitas en Camagüey, el nitrato de calcio $[Ca(NO_3)_2]$ se obtiene mediante la neutralización del ácido nítrico y el hidrato de cal. Esta reacción produce el nitrato de calcio en solución y un volumen de residuos sólidos. Estos residuos sólidos están formados, de una parte, por el hidrato de cal que no reaccionó en el reactor, los cuales se colectan en el filtro primario y, por otro lado, por el lodo que se obtiene en el proceso de sedimentación.

No existe una estrategia única del control de la acidez del suelo debido a las particularidades de los mismos, la aplicación de una misma fuente cálcica en diferentes tipos de suelos genera diversas respuesta en cuanto a la concentración de calcio y potasio disponibles, valor de pH, entre otros ⁽¹³⁾. Existen muchos factores que están involucrados en la corrección de la acidez, por lo cual la solución de este problema implica un enfoque integral que abarca desde el análisis del suelo, el agua y el uso de enmiendas, entre otras ⁽¹⁴⁾. Experiencias en Cuba ⁽¹⁵⁾ han demostrado que al establecer un sistema integrado de tecnologías de manejo sostenible de suelo ayuda a mejorar el desequilibrio intercатиónico y las propiedades químicas del suelo, entre otros aspectos.

El presente trabajo tiene como propósito fundamental caracterizar los residuos sólidos que se obtienen en este proceso. La confirmación de nutrientes en estos residuos permitiría a la entidad comercializarlo como material destinado a encalar suelos ácidos y portador de nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Química Inorgánica del Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas (CIIQ), ubicado en La Habana y perteneciente al Grupo Empresarial de la Industria Química (GEIQ) del Ministerio de Industrias (MINDUS).

Se pesó un kilogramo del residuo sólido del filtro primario, se secó en la estufa marca Merck ULM-500, de origen alemán, a una temperatura de 105 °C durante una hora. Posteriormente, sin recibir algún tratamiento de reducción de tamaño, este se pasó por un vibrador de tamices Marca MRC Scientific Instruments Modelo TSS-200 para determinar la granulometría de la muestra.

Se separó un litro del lodo residual del proceso de sedimentación. Para el filtrado del lodo se utilizó un embudo con el papel de filtro F-2041, a una presión de vacío de -0,6 atm, de esta filtración se obtuvo un residuo sólido y un líquido claro.

Ambas muestras se caracterizaron de acuerdo a las normas: NC 1117:2016; NC 1119:2016; NC 1121:2016; NC 54–279 y Reagent Chemicals, 8th American Chemical Society Specifications. Se determinó la granulometría, el residuo insoluble, el porcentaje de nitrógeno y de calcio, la densidad del líquido y la acidez, ésta última se determina con papel indicador de pH, rango desde 1-14.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Las Tablas 1 y 2 presentan la caracterización de los residuos sólidos de este proceso, con el propósito de evaluar la factibilidad de ser usados como enmiendas o material encalante.

Tabla 1. Análisis físico-químico del residuo sólido del filtro primario

Ensayo	Valores	
H ₂ O (%)	18,92	
Granulometría (%)	< 1 mm	29,5
	1 - 2 mm	25,0
	2 - 3,36 mm	6,2
	3,36 - 4	19,4
	> 4 mm	19,9
pH	12,0	
Residuo insoluble	8,95	
Nitrógeno	1,43 %	
Calcio	4,0 %	

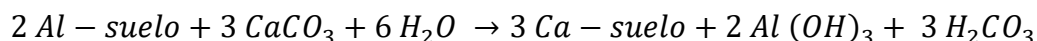
En la Tabla 1, se puede observar que el residuo sólido que sale del reactor tiene un pH alto por lo que aún queda hidróxido de calcio [Ca(OH)₂].

Tabla 2. Análisis químico del lodo y líquido claro obtenido en el sedimentador

Residuo sólido (227,4 g)		Líquido claro (490 mL)			
N ₂ (%)	Ca (%)	N ₂ (%)	Ca (%)	Densidad, g mL	Acidez libre
5,65	11,79	8,58	12,50	1,497	0

En la Tabla 2 se observa que existe cierta cantidad de nitrato de calcio en el residuo sólido, aunque con valores inferiores a la del líquido claro.

La corrección de la acidez consiste en neutralizar, principalmente, el aluminio intercambiable. Es de notar que esta reacción ocurre solo cuando hay humedad en el suelo y solo afecta el volumen del suelo donde se aplica. La reacción ocurre según la siguiente reacción ^(1,11):



El efecto del encalado se extiende hasta la biodiversidad al modificar la disponibilidad de nutrientes que hace que se desarrollen unas especies en detrimento de otras, a medida que el pH se acerca a 7, el número de especies aumenta, pues un gran número de éstas tiene su desarrollo óptimo a este valor, si el pH se aleja de la neutralidad aparecen otras adaptadas a esas condiciones especiales ⁽¹⁶⁾. Una opinión aceptada sobre el propósito del encalado se puede resumir en dos aspectos fundamentales (i): suprimir la deficiencia de calcio y magnesio; (ii) corregir los efectos negativos de la acidez ⁽¹⁾.

La Tabla 3 muestra los valores de neutralización de diferentes sustancias químicas empleadas para encalar.

La eficiencia agronómica de los materiales utilizados para encalar, se determina al analizar la pureza del material, la forma química, el tamaño de las partículas y el valor de la neutralización, que se expresa como porcentaje equivalente en carbonato de calcio ^(17,18).

Tabla 3. Sustancias correctoras de la acidez de los suelos y su valor de neutralización

Denominación	Valor de neutralización (VN) %	kg equivalentes a 1000 kg de CaCO ₃
Carbonato de calcio	100	1000
Carbonato de magnesio	119	840
Óxido de calcio	179	560
Óxido de magnesio	248	400
Hidróxido de calcio	135	740
Hidróxido de magnesio	172	580
Silicato de calcio	86	1160
Silicato de magnesio	100	1000

Fuente: ⁽¹⁸⁾

Las sustancias más comunes empleadas para encalar son inorgánicas, como las que se muestran en la Tabla 4, aunque hay estudios realizados con residuos orgánicos, específicamente vermicompost de estiércol bovino, solo o mezclado, que han dado buenos resultados ⁽¹⁹⁾.

Otros materiales como la caliza fosfatada y combinaciones de abonos orgánicos y *NPK* han dado muy buenos resultados en áreas cañeras de Vertisoles de la costa norte de la provincia de Villa Clara, estas combinaciones manifestaron efectos positivos significativos sobre la estructura del suelo, tanto en la capa superficial como en el subsuelo, con impacto residual en el tiempo hasta los 36 meses ⁽²⁰⁾. La aplicación de cales líquidas en un Utisol, puede disminuir rápidamente la acidez del suelo con un efecto residual superior a los 61 días e incrementar la fertilidad del suelo, aumentando la altura de las plantas, la longitud de las raíces y el peso seco de la biomasa del maíz ⁽²¹⁾.

Es preciso tener presente que es necesario realizar esta operación de manera controlada para evitar efectos adversos, siendo uno de ellos la elevación de los costos de producción.

La eficiencia agronómica del material para encalar depende del tamaño de la partícula, mientras más pequeña sea ésta, mayor será su reacción. Por lo que su eficiencia relativa (ER) va a depender del grado de molienda del material ^(17,18). La Tabla 4 muestra esta relación.

Tabla 4. Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla

Número de malla mesh	Tamaño de los orificios	Eficiencia relativa, %
< 8	> 2,36	0
8 – 20	2.36 – 0.85	20
20 – 40	0.85 – 0.42	40
40 – 60	0.85 – 0.25	60
> 60	< 0.25	100

Para valorar de forma conjunta estos dos factores, la pureza química y el tamaño de partícula, se utiliza un parámetro denominado Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT). Este valor indica la cantidad de material que reaccionará en los primeros tres meses ⁽¹⁷⁾ y se calcula de acuerdo a la ecuación 1.

$$PRNT = \frac{VN * ER}{100} \quad (1)$$

La valoración del residuo sólido del filtro primario como material para encalar se muestra en la Tabla 5.

Del balance de masa realizado en el reactor, en el filtro primario, en un día de trabajo, se obtienen 176 kg de residuos sólidos, lo que significa que 95,92 kg tienen la granulometría requerida y pueden reaccionar con la acidez de los suelos de manera eficiente. De este valor inicial 27,0 kg reaccionaría en los primeros tres meses y el resto (68,92 kg) reaccionarían posteriormente.

Está claro que un tamaño de partícula menor en el residuo, tendría un mayor valor de PRNT y mayor cantidad de cal reaccionaría en los primeros tres meses, lográndose una mayor neutralización de los suelos ácidos en los primeros tres meses. Estos tiempos pueden variar, estudios realizados en suelos fuertemente ácidos cultivados con cacao se aplicó como material encalante cal agrícola de 85 % de pureza y cal dolomita con 55 % de CaCO_3 y 33 % de MgCO_3 el pH de los suelos aumentó de 4,36 hasta 6,0 en 60 días ⁽²²⁾.

Tabla 5. Valoración como material para encalar del residuo obtenido en el filtro primario

Residuo	Eficiencia relativa granulométrica ER, %	Valor de neutralización VN, %	$PRNT = (VN * ER)/100, \%$
Residuo sólido granulometría 2 <1 mm (malla 8–20) El 54,5% del residuo pasa por esta malla	20	135	27,0

El residuo del filtro primario se empleó sin ningún tratamiento de reducción de partícula para evaluar su PRNT y así evitar el incremento de los costos.

El objetivo de la planta de nitrato de calcio es producir $2800 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ de fertilizante líquido, esto generaría 123,2 t de residuos sólidos que de emplearse como material para encalar suelos evitaría la generación de un pasivo ambiental. En la Tabla 6 se presentan las cantidades de caliza fina

puramente dividida con el propósito de incrementar el pH en 0,5 unidades, por lo que puede tenerse una idea de cuanta área cubrirá este residuo. Sin embargo, es necesario hacer un análisis químico del suelo para determinar el pH y la capacidad tampón del mismo ⁽²³⁾.

Tabla 6. Necesidades medias de caliza pura finamente dividida para incrementar 0,5 unidades de *pH* al suelo en función de su *pH* inicial, textura y composición orgánica t ha⁻¹

Tipo de suelo	<i>pH</i> inicial			
	4,5 – 5,0	5,0 – 5,5	5,5 – 6,0	6,0 – 6,5
Arenoso	0,35	0,35	0,40	0,50
Franco – arenoso	0,50	0,60	0,70	0,90
Franco	0,85	0,95	1,05	1,25
Franco – limoso	1,30	1,40	1,50	1,70
Franco – arcilloso	1,60	1,80	2,00	2,50
Orgánico	3,60	3,80	4,00	4,50

Fuente: ⁽²⁴⁾

Las características de los materiales para encalar son variables y cada uno tiene sus especificaciones. Se plantea que un material tiene buena calidad para encalar si tiene un contenido equivalente de carbonato de calcio del 80 % en adelante. Los materiales cuyo ingrediente son el óxido e hidróxido de calcio y magnesio son más efectivos en neutralizar la acidez. Además, cuanto más fino y mayor contenido de calcio y magnesio tenga, más rápida será su reacción en el suelo ⁽²⁴⁾.

Sin embargo, un aspecto que podría aportar un beneficio adicional al emplear este residuo sólido en la agricultura, es la cantidad de nitrato de calcio que aún retiene el mismo y que puede ser empleado por las plantas como fuente de nitrógeno fácilmente asimilable. Otras experiencias han demostrado que la combinación de material encalante con macronutrientes puede resultar beneficioso para el incremento de la productividad de las plantas entre otros beneficios. En un trabajo realizado ⁽²⁵⁾ utilizaron el yeso agrícola como material para encalar y lo combinaron con fertilizante 41–46–00 ⁽²⁶⁾, lo que representó ventajas competitivas en la producción de maíz, incrementando el rendimiento de la masa foliar y el rendimiento en grano, igualmente las plantas bajo este tratamiento resultaron tener tallos más robustos y de mayor altura.

En otro estudio realizado se empleó la espuma azucarera que es un material con alto contenido en peso seco de CaCO₃ y pequeñas cantidades de NPK por lo que se produjo un aumento en las concentraciones medias de *N – Kjendal*, *P – Olsen* y *K – disponible* de los suelos, al igual que en la fertilidad química y bioquímica de los suelos ⁽²⁷⁾.

CONCLUSIONES

- Los residuos generados como enmienda deben ser empleados para disminuir la acidez de los suelos y como portador de nutrientes.
- Poder Relativo de Neutralización del residuo sólido del filtro primario sin triturar es igual a 27 %.
- El 54,5 % del residuo del filtro primario tiene la granulometría requerida y puede reaccionar con la acidez de los suelos en los primeros tres meses.
- El residuo sólido del sedimentador puede emplearse como portador de los nutrientes calcio y nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Realizar una prueba de campo con este residuo industrial para determinar su eficiencia agronómica en la disminución de la acidez de los suelos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Machado A A. Efecto del encalado sobre las cargas eléctricas y otras propiedades de tres suelos de Costa Rica. Programa Conjunto Universidad de Costa Rica/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza(CATIE); 1977 p. 138.
2. Chaves Solera MarcoA. La acidez y el encalado de los suelos. Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar(DIECA)); 1984 p. 1–5.
3. López-Báez W, Urbina H L, Reinoso S R, Martínez S J. Efectos del encalado ensuelo ácido cultivado con café (*Coffea arabica L.*) en la Reserva de la Biosfera del Triunfo, Chiapas, México. AgroProductividad. 2018;11(4):55–60.
4. Sadeghian S. La acidez del suelo una limitante común para la producción de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé); 2016.
5. Osorno Henao H. Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede medellin; 2012.
6. Jiménez AH, Díaz MM, Benítez YB, Vargas Blandino D, Cabrera Rodríguez JA, Ascanio MO, et al. Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la "llanura roja de La Habana", por el cultivo continuado. Mayabeque: Ediciones INCA; 2014, 157p.

7. Đalović IG, Jocković ĐS, Dugalić GJ, Bekavac GF, Purar B, Šeremešić SI, et al. Soil acidity and mobile aluminum status in pseudogley soils in Čačak-Kraljevo basin. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2012;77(6):833–43.
8. ONEI. Oficina Nacional de Estadísticas e Información. Edición 2018. 2018.
9. Gómez JJC, Muñoz RB, Rodríguez M de LH. Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*. 2015;19(1):39–50.
10. Oliva Escobar DP, Arévalo G. Determinación de la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua. ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA; 2009.
11. Campillo R. Estrategias de corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas. Producción de trigo harinero para el borde costero de La Araucanía. *Capítulo*. 2013;1:9–23.
12. Santos Rojas J, Orena Alvarado S. Manual de producción de papa para la agricultura familiar campesina. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2006;(147):77.
13. Hirzel J, Toloza S, Novoa F. Evolución a corto plazo de las propiedades químicas en dos suelos de la zona centro sur de Chile fertilizados con diferentes fuentes de calcio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 2016;32(3):217–27.
14. Molina E. Acidez de suelos y uso de enmiendas. Centro de Investigaciones Agronómicas. 2014;1:1–7.
15. Carcedo EAC, Miranda YMM, Aroche EJA. Tecnologías de manejo sostenible de suelo en la cooperativa Jaime Vena, Pinar del Río. *Avances*. 2015;15(4):416–25.
16. Morán DK. Efecto del encalado y la fertilización con lodos de depuradora urbana sobre la evolución edáfica, productiva y biodiversidad de un sistema silvopastoral desarrollado bajo *Populus x canadensis* en el noroeste de España. [Tesis de Doctorado]. [España]: Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Producción Vegetal; 2009. 221 p.
17. Molina E, Espinosa J. Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. CATIE, San José–Costa Rica. 1999;46.
18. Quiroga Martínez MJ. Efecto de la aplicación de materiales encalantes en el cultivo de la vid cv. Mencía en la DO Bierzo, incidencia sobre la composición fenólica y evolución en la crianza del vino. 2014;
19. Bárcenas J, Gascó-Guerrero G, López R, Hernández J, Larreal M, Bracho B. El equivalente de $CaCO_3$ como criterio para realizar mezclas de materiales para la enmienda de acidez en

- Ultisoles. Estudio en columnas simuladas de suelo. *Rev. Fac. Agron.* 2014;31(Supl 1):611–23.
20. Cairo Cairo P, Machado de Armas J, Torres Artiles P, Rodríguez Urrutia A, Rodríguez López O, Jiménez Carrazana R. Efectos de la caliza fosfatada sobre la estructura y calidad de vertisoles bajo caña de azúcar. *Centro Agrícola.* 2017;44(4):30–6.
 21. Garbanzo-León G, Molina-Rojas E, Cabalceta-Aguilar G. Efecto de la aplicación de enmiendas líquidas en el suelo y en el crecimiento de maíz bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense.* 2016;40(2):33–52.
 22. 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.
 23. Hirzel J, Henríquez R. Uso de enmiendas calcáreas en viñedos. *Vinos del Sur.* 2018;(2).
 24. López-Cabeza R. Comportamiento enantioselectivo de los plaguicidas Metalaxil e Imazaquín en suelos agrícolas. 2017;279.
 25. Toledo M. Manejo de suelos acidos de las zonas altas de Honduras: Conceptos y metodos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA),; 2016. 156 p.
 26. Acosta L, Rivera J, Marza F, Claire T. Uso de yeso agrícola como enmienda en el cultivo de maíz forrajero en el valle central de Tarija. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF.* 2017;4:56.
 27. Xiong J. Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (*Paulownia fortunei*). 2016;180.