



AGROMINERAL INNOVADOR: TRANSFORMANDO LA AGRICULTURA Y LA REHABILITACIÓN MINERA EN MOA

INNOVATIVE AGROMINERAL: TRANSFORMING AGRICULTURE AND MINING REHABILITATION IN MOA

GIORVYS RAMÓN CUZA FERNÁNDEZ*, GERARDO ANTONIO OROZCO MELGAR,
CARLOS ALBERTO LEYVA RODRÍGUEZ, MARCOS MIGUEL MEDINA ARCE,
LUIS ALBERTO PÉREZ GARCÍA

Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, Cuba.

E-mail: gorozco@ismm.edu.cu; cleyya@ismm.edu.cu; mmedina@ismm.edu.cu; lapgarcia@ismm.edu.cu

**Autor para correspondencia: gcuza@ismm.edu.cu*

RESUMEN

La crisis global de fertilizantes, exacerbada por la COVID-19 y el conflicto entre Ucrania y Rusia, ha motivado la búsqueda de alternativas sostenibles para enfrentar los desafíos agrícolas en Moa, Cuba. En este contexto, un equipo de la Universidad de Moa desarrolló un agromineral innovador mediante la combinación de tobas zeolitizadas y vítreas con el licor residual amoniacal del proceso CARON de la industria del níquel. Este proyecto, aprobado como parte de un programa de investigación y desarrollo local, demostró ser viable económica y ambientalmente. Se realizaron pruebas en organopónicos y canteros experimentales con cultivos como pepinos, habichuelas y espinacas, lo que produjo incrementos significativos en la producción. Además, el agromineral evidenció su capacidad para rehabilitar suelos degradados por la minería del níquel, lo que mejoró su estructura, fertilidad y capacidad para retener nutrientes. Análisis químicos indicaron una remoción del 99% del amonio presente en el licor residual, mientras que las formulaciones utilizadas no aumentaron la concentración de metales pesados en los suelos. Los resultados confirman el potencial del agromineral para incrementar la productividad agrícola, promover la sostenibilidad y contribuir a la rehabilitación minera. Se identificaron importantes aplicaciones en la mejora de suelos lateríticos, típicos de Moa, y en la agricultura urbana. Este avance podría desempeñar un papel clave en la mitigación de los impactos del cambio climático y en la seguridad alimentaria de la región.

Palabras clave: agrominerales, fertilidad del suelo, sostenibilidad, agricultura urbana, rehabilitación minera

ABSTRACT

The global fertilizer crisis, exacerbated by COVID-19 and the conflict between Ukraine and Russia, has motivated the search for sustainable alternatives to face agricultural challenges in Moa, Cuba. In this context, a team from the University of Moa developed an innovative agromineral combining zeolitized and vitreous tuffs with the ammoniacal residual liquor from the CARON process of the nickel industry. This project, approved as part of a local research and development program, proved to be economically and environmentally viable. Tests were carried out in organoponics and experimental beds with crops such as cucumbers, beans and spinach, observing significant increases in production. In addition, the agromineral demonstrated its capacity to rehabilitate soils degraded by nickel mining, improving their structure, fertility and capacity to retain nutrients. Chemical analysis indicated a removal of 99% of the ammonium present in the residual liquor, while the formulations used did not increase the concentration of heavy metals in the soils. The results confirm the potential of agrominerals to increase agricultural productivity, promote sustainability and contribute to mining rehabilitation. Important applications were identified in the improvement of lateritic soils, typical of Moa, and in urban agriculture. This advance could play a key role in mitigating the impacts of climate change and in food security in the region.

Keywords: agrominerals, soil fertility, sustainability, urban agriculture, mining rehabilitation

Recibido: 13/12/2023

Aceptado: 13/3/2024

Conflictos de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

La actual crisis de fertilizantes ha generado una gran tensión en la agricultura mundial, lo que exige la búsqueda de alternativas que permitan enfrentar de manera oportuna el problema de la producción agrícola y evitar una futura escasez de alimentos (Hernández-Jiménez, 2021). Las dificultades crecientes para adquirir fertilizantes, causadas por la crisis mundial originada por la pandemia de COVID-19 y el conflicto bélico entre Ucrania y Rusia, han impulsado la necesidad de desarrollar y aplicar alternativas que puedan, en cierta medida, satisfacer la demanda de la agricultura cubana, especialmente en el municipio de Moa, el cual se caracteriza por su déficit en este sentido.

En 2023, un equipo de trabajo de la Universidad de Moa logró desarrollar un agromineral innovador. Este producto se obtuvo experimentalmente mediante la combinación de tobas zeolitizadas y vítreas con el licor residual del proceso CARON de la industria del níquel (Orozco-Melgar & Cuza-Fernández, 2022). El desarrollo de este agromineral se sustenta en la aprobación de un proyecto de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) por parte de la Delegación Territorial del CITMA en Holguín, como parte de un programa que promueve el aprovechamiento de rocas y minerales industriales de toda la provincia. Además, cuenta con el respaldo de las autoridades municipales, quienes han facilitado el financiamiento a través de la contribución territorial.

Inicialmente, el proyecto se centró en evaluar la viabilidad económica de la producción del agromineral. Este fue el punto de partida para un proceso de investigación y experimentación que ha producido resultados prometedores. Tras realizar pruebas a escala piloto en organopónicos y canteros de pruebas, se observaron incrementos significativos en los rendimientos de cultivos como pepinos, habichuelas, espinacas y acelgas (Figura 1).

Estos resultados no solo evidenciaron el potencial de los agrominerales en la agricultura urbana para mejorar la

producción local de alimentos, sino que también resaltaron su impacto positivo en la rehabilitación de áreas mineras afectadas por la extracción de níquel en Moa. La actividad minero-metalúrgica para la obtención de níquel y cobalto en esta región tiene un fuerte impacto en los bienes ecosistémicos, donde el suelo es la porción más afectada debido a las acciones extractivas. La degradación de las áreas como resultado de estas actividades justifica la necesidad de su tratamiento y recuperación.

El suelo constituye el medio natural del cual las plantas obtienen los nutrientes necesarios para germinar, crecer y desarrollarse. Sin embargo, ya sea por causas naturales o inducidas, los suelos pierden gradualmente sus propiedades, lo que les impide suministrar los elementos nutritivos en cantidades adecuadas (Jiménez Ramírez., 2018). En Cuba, los suelos pardos (Inceptisoles) y húmicos sialíticos (Molisolos) cubren una superficie de 2.526.000 km² y son fundamentales para la economía nacional, aunque presentan limitaciones como su ubicación en zonas erosionadas y su poca profundidad efectiva (USDA, 2014).

En el municipio de Moa, provincia de Holguín, los suelos lateríticos presentan dificultades para almacenar agua, lo que afecta el crecimiento de las plantas. El uso de fertilizantes en estos suelos mejora el rendimiento de los cultivos y promueve la producción vegetal. Sin embargo, la adquisición de fertilizantes enfrenta desafíos que ponen en riesgo el desarrollo del programa alimentario y el fortalecimiento de la economía nacional.

La naturaleza poco favorable de los suelos en Moa para la agricultura y la reforestación ha impulsado la aplicación de agrominerales como una solución innovadora y sostenible. La investigación actual no solo documenta los logros obtenidos con variantes de agrominerales en la región, sino que también destaca su potencial para la rehabilitación minera en la industria del níquel cubano. En este contexto, en 2018 se aprobó un programa de desarrollo local que incluye la producción de fertilizantes a base de minerales como rocas zeolitizadas y tobas vitroclásticas,



Figura 1. Cultivos experimentales de pepino (izquierda) y espinacas (derecha) realizados en el organopónico Miraflores de la Ciudad de Moa.

combinados con un residual amoniacal del proceso CARON de la Empresa de Níquel y Cobalto “Comandante Ernesto Ché Guevara”. Este fertilizante aporta nitrógeno, magnesio y calcio, esenciales para revitalizar los suelos lateríticos del territorio.

Existen estudios preliminares en el municipio enfocados en la agricultura urbana, la mejora de suelos y la bioacumulación de metales pesados. Particularmente relevante es el desarrollo de un agromineral formulado con recursos locales, un tema con gran potencial para futuras investigaciones (Pérez-García et al., 2023).

La literatura científica documenta ampliamente los beneficios de los agrominerales en la agricultura. Velázquez Garrido et al. (2011) analizaron alternativas ecológicas de fertilización basadas en recursos minerales como zeolitas y calizas fosfatadas para aumentar la producción de alimentos. Beltrán et al. (2019) lograron mejoras en cultivos de soja y maíz al usar roca fosfórica y yeso como fertilizantes en Argentina. Gaona et al. (2020) estudiaron los efectos de nitrógeno y potasio en el crecimiento y contenido de nutrientes en aguacates en México. Gindri Ramos et al. (2019) evaluaron el uso de subproductos de minería como remineralizadores de suelos. Zhang et al. (2018) resaltaron la importancia de los agrominerales para proporcionar nutrientes esenciales y como enmiendas del suelo, lo que destaca su relevancia para una agricultura sostenible. Pérez-Martín (2013) argumentó que los agrominerales proporcionan una serie de beneficios que mejoran las condiciones del suelo, así facilita las producciones que la oferta ambiental permite, tales como:

Propiedades físicas

1. Mejora la estructura del suelo.
2. Aumenta la agregación de las partículas y el suelo resiste mejor la erosión.
3. Incrementa la aireación, la permeabilidad y la retención de humedad.

Propiedades químicas

1. Aumenta la capacidad buffer o resistencia a cambios de pH
2. Aumenta la capacidad de intercambio de cationes
3. Suministra nutrientes al cultivo.

Propiedades biológicas

Incrementa la actividad de los microorganismos que ayudan a la mineralización de los residuos orgánicos.

Según Orozco-Melgar & Cuza-Fernández (2022), un agromineral es un mejorador del suelo que influye positivamente en su estructura, características físico-químicas y fertilidad. A diferencia de los fertilizantes convencionales, los agrominerales poseen propiedades que promueven la retención de humedad en el suelo o sustrato y reducen la pérdida de nutrientes por lixiviación, lo que favorece el desarrollo agrícola de manera sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

La formulación del agromineral se diseñó con materiales geológicos disponibles, como las tobas zeolitizadas del yacimiento San Andrés, Holguín; las tobas vitroclásticas del yacimiento El Pícao, Sagua de Tánamo; y las calcilitas de la región de Yaguaneque, Moa. Además, se empleó como material industrial no geológico el licor residual proveniente del proceso tecnológico CARON, desarrollado en la empresa Comandante Ernesto Ché Guevara.

Los análisis realizados a las muestras se describen a continuación:

1. Análisis químico de silicatos (Tobas zeolitizadas), determinación de 8 componentes primarios y secundarios, método fluorescencia de rayos X: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O .
2. Análisis químico de silicatos (Tobas Vitroclásticas), determinación de 8 componentes primarios y secundarios, método fluorescencia de rayos X: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O .

Para el intercambio de amonio con las tobas zeolitizadas, se utilizó el residual amoniacal obtenido en el proceso de extracción de níquel en la fábrica Ernesto Che Guevara. El análisis químico de este residual fue realizado en el Centro de Investigaciones del Níquel de Moa (Cediniq). Las determinaciones químicas incluyeron el análisis de níquel y cobalto mediante espectrofotometría de absorción atómica, y la cuantificación de amoníaco (NH_3) con un método de valoración específico para licores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó que durante el proceso de intercambio catiónico de las tobas zeolitizadas con el residual amoniacal, las zeolitas presentes en las tobas mostraron una elevada capacidad para remover el amonio. El análisis químico presentado en la Tabla 1 indicó una efectividad de remoción del 99 %. A partir de una concentración inicial de amonio de 1951,6 mg/L, el licor residual resultante presentó una concentración reducida de 13,6 mg/L tras el intercambio.

La Tabla 2 detalla las composiciones químicas de los materiales geológicos utilizados en la formulación de diversos agrominerales. Por su parte, la Tabla 3 muestra los contenidos de elementos pesados en las diferentes formulaciones, lo que permite monitorear la inocuidad de los productos, considerando que el licor residual proviene de procesos de minería de lateritas. Aunque existía preocupación por un posible enriquecimiento con metales pesados, los datos confirman que los agrominerales no incorporaron cantidades adicionales de estos elementos, sino que, por el contrario, redujeron sus concentraciones (Aguirre, 1999).

Tabla 1. Composición química del residual amoniacal de la Empresa Ernesto Che Guevara después de tratado con las tobas zeolitizadas RI: residual inicial, RTK-I licor residual tratado con tobas zeolitizadas.

Código	NH ₃	mg/L
RI		1951,6
RTK-I		13,6

Tabla 2. Composición química de los materiales geológicamente disponibles utilizados en la conformación de los Agrominerales, los resultados están expresados en porciento (Almenares Reyes, 2011). Las muestras de calcilutitas fueron procesadas en Laboratorio de Geo científico del Instituto de Geología de Angola).

Muestra	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PPI
Toba San Andrés	65,55	0,276	11,75	1,43	2,824	0,947	1,376	1,677	14,15
Toba El Picao	60,86	0,49	13,63	4,58	5,34	2,64	1,87	2,27	8,83
Calcilutitas Yaguaneque	<19	0.057	1.5	1.59	46.67	1.45	<0.3	<0.1	

Tabla 3. Composición química de los materiales para metales pesados, los resultados están expresados en ppm. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio Geo científico del Instituto de Geología de Angola.

Muestras	Pb	Cd	Ni	Co	Cu	V
Tobas Zeolitizada natural	6.17	0.058	24.2	2.74	8.44	16.5
Agromineral	4.86	0.076	12.6	2.31	9.72	16.8
Tobas Vitroclásticas	7.55	0.13	15.0	7.96	31.9	12.7
Calcilutitas (MC)	3.48	0.068	27.9	8.44	13.0	32.1

Aplicaciones

Se realizaron tres experimentos. Dos de ellos se llevaron a cabo en el organopónico de la Universidad de Moa: el primero evaluó un mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas en cultivos de habichuela. El segundo utilizó rocas carbonatadas de Yaguaneque en suelos lateríticos para el cultivo de pepino. El tercer experimento se desarrolló en el organopónico de Miraflores, donde se evaluó la zeolita cargada con residual amoniacal mezclada con tobas vítreas como agromineral para el cultivo de pepino.

Los resultados sistematizaron casos concretos de aplicación de agrominerales y mejoradores de suelos en el municipio de Moa. Destacan formulaciones a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, así como mezclas con tobas vítreas. Además, se confirmó la disponibilidad de una amplia variedad de materiales geológicos, como tobas vítreas y zeolitizadas, calcilutitas y el residual amoniacal proveniente de la industria del níquel, con potencial para su uso como agrominerales. Finalmente, la experimentación realizada en los trabajos de diploma permitió analizar y valorar la eficacia de los agrominerales y

mejoradores de suelos empleados, lo que permitió validar su utilidad en la agricultura sostenible.

Evaluación de la evolución de las plantas de habichuelas con el empleo del agromineral.

La siembra se llevó a cabo en un ambiente fresco durante el horario vespertino, con suficiente humedad y el empleo de semillas de alta calidad. Este enfoque favoreció la efectividad del proceso, ya que, de todas las plantas sembradas, solo tres no germinaron, lo que representa un excelente porcentaje de éxito.

El uso de agrominerales a base de zeolitas cargadas con amonio demostró ser altamente efectivo para incrementar la producción de habichuelas en el experimento (Tabla 4). Las zeolitas se destacan por su capacidad de retener nutrientes y liberarlos de forma gradual, lo que mejora tanto el crecimiento como el desarrollo de las plantas. En este caso, su aplicación como medida complementaria en el suelo produjo un aumento significativo en la producción de habichuelas en comparación con la muestra testigo. Este efecto se evidenció en las cuatro cosechas realizadas, lo que confirma el impacto positivo de las zeolitas cargadas con amonio en el rendimiento de los cultivos.



Figura 2. Cultivo de habichuelas día 15 posterior al nacimiento (A). Evolución del cultivo tras 27 días posteriores a su nacimiento (B).

Tabla 4. Resultados obtenidos en los experimentos de habichuelas (Garlobo Plutin, 2023). La muestra E-1 corresponde con las plantas sembradas en suelo laterítico sin tratamiento, la muestra E-2 fue un cantero donde solo se usó el encalado con calcilutitas como mejorador de suelo, y la muestra E-3 es una combinación de encalado con agromineral.

Muestras	Primera cosecha (53 días) (kg)	Segunda cosecha (61 días) (kg)	Tercera cosecha (65 días) (kg)	Cuarta cosecha (69 días) (kg)	Total (kg)
E-1	1,35	1,60	0,84	0,54	4,33
E-2	1,75	2,20	1,24	0,93	6,63
E-3	3,50	4,15	2,32	1,45	11,42

Por otro lado, el encalado del suelo, mediante la aplicación de calcilutitas, resultó ser una medida complementaria eficaz en el experimento. Este tratamiento permitió mejorar la producción agrícola, esto sugiere que el uso de calcilutitas como corrector de pH tiene un alto potencial. Sin embargo, es necesario desarrollar investigaciones más profundas sobre su implementación para optimizar los resultados en el manejo del pH del suelo.

Evolución de plantas de pepino con el empleo del agromineral (organopónico Miraflores)

La interacción de las tobas zeolitizadas con el residual amoniacal demostró una alta efectividad en la remoción de amonio. El análisis químico evidenció que las tobas zeolitizadas eliminaron el 99 % del amonio presente en el licor residual, lo que confirma su elevada capacidad para captar este compuesto.

La concentración inicial de amonio en el licor residual era de 1951,6 mg/L. Tras el proceso de intercambio con las tobas zeolitizadas, la cantidad de amonio residual fue mínima. Estos resultados subrayan la eficacia de las tobas zeolitizadas en la remoción de amonio, lo cual es esencial para la formulación de agrominerales, dado que el nitrógeno es un elemento fundamental en este contexto.

De acuerdo con los datos de la [Tabla 5](#), el empleo de agrominerales a base de tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, en comparación con el suelo testigo de tipo laterítico, mostró un incremento significativo en la



Figura 3. Desarrollo del cultivo de pepino organopónico Miraflores.

producción de frutos y en su peso total en kilogramos. Tras 41 días de cosecha, se observó un aumento en la cantidad de frutos recolectados y en su peso total, lo que refleja una mejora notable en el rendimiento del cultivo de pepino, variedad Puerto Padre.

Este aumento en la producción y en el peso total de los frutos cosechados indica que la aplicación de tobas zeolitizadas cargadas con el residual amoniacal, combinadas con tobas vítreas, tuvo un efecto positivo en el cultivo. Además, la reducción en el tiempo de recolección del cultivo constituye un factor clave que puede mejorar la productividad agrícola de forma general.

Tabla 5. Resultados obtenidos en los experimentos de pepino (Yalima Céspedes Piña, 2023).

Experimentos	Primera cosecha (41) días		Segunda cosecha (55) días		Total	
	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)	Frutos	Peso (kg)
Testigo	25	6	28	9	53	15
Aplicación del Agromineral	33	10	38	12	71	22

Potencialidades del uso de agrominerales en las condiciones de Moa

El uso de agrominerales basados en tobas cargadas con amonio presenta diversas potencialidades para la región de Moa y sus alrededores. Algunas de las ventajas y beneficios que podrían derivarse de esta práctica son:

Mejora de la fertilidad del suelo: Las tobas cargadas con amonio aportan nutrientes esenciales para las plantas, como el nitrógeno, que es fundamental para su crecimiento y desarrollo. Esto puede contribuir a mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la productividad de los cultivos en la región.

Aumento de la eficiencia en la absorción de nutrientes: Las tobas zeolitizadas tienen la capacidad de retener y liberar nutrientes de manera controlada, lo que puede favorecer una mayor eficiencia en la absorción de los mismos por parte de las plantas. Esto podría traducirse en un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo.

Reducción de la contaminación ambiental: El uso de agrominerales a base de tobas cargadas con amonio puede ayudar a reducir la contaminación del suelo y del agua, ya que permiten la captación y remoción de compuestos como el amonio que de otro modo podrían ser perjudiciales para el medio ambiente.

Incremento de la productividad agrícola: Al mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes y reducir la contaminación ambiental, el uso de agrominerales basados en tobas cargadas con amonio podría contribuir a un incremento en la productividad agrícola de la región de Moa.

Implicaciones para la rehabilitación minera en las condiciones de Moa

La investigación entró en nueva fase que incluye el uso del agromineral en las zonas degradadas por la minería del níquel, aun sin haber resultados concluyentes se pueden definir algunas potencialidades.

Mejora de la fertilidad del suelo: Las tobas cargadas con amonio proporcionan nutrientes esenciales, como el nitrógeno, que es fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este aporte puede contribuir a mejorar la fertilidad del suelo, lo que a su vez incrementa la productividad de los cultivos en la región.

Aumento de la eficiencia en la absorción de nutrientes: Las tobas zeolitizadas tienen la capacidad de retener y liberar nutrientes de manera controlada, lo que favorece una mayor eficiencia en su absorción por las plantas. Este proceso puede resultar en un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo.

Reducción de la contaminación ambiental: El uso de agrominerales a base de tobas cargadas con amonio puede contribuir a la reducción de la contaminación del suelo y del agua. Este tipo de agrominerales facilita la captación y remoción de compuestos, como el amonio, que de otro modo podrían ser perjudiciales para el medio ambiente.

Incremento de la productividad agrícola: Al mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la eficiencia en la absorción de nutrientes y reducir la contaminación ambiental, el uso de agrominerales basados en tobas cargadas con amonio podría generar un aumento en la productividad agrícola de la región de Moa.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Las tobas zeolitizadas utilizadas en el proceso de intercambio catiónico demostraron una alta capacidad para remover amonio, con una efectividad del 99%. Además, el agromineral resultante de este proceso no incorporó más metales pesados que los presentes de forma natural en los materiales utilizados, lo que contribuye a reducir las concentraciones de estos elementos en el sustrato.

El uso de agrominerales a base de zeolitas cargadas con amonio es altamente efectivo para aumentar la producción de habichuelas en los experimentos realizados. La aplicación de zeolitas cargadas con amonio se reflejó en las cuatro cosechas llevadas a cabo, por lo que esta estrategia contribuyó significativamente al aumento del rendimiento de los cultivos.

El encalado del suelo mediante la aplicación de calcilutitas resulta eficaz como medida complementaria para mejorar la producción. Esto resalta la importancia de continuar con el estudio del uso de calcilutitas como corrector de pH en futuros trabajos agrícolas. En general, los resultados obtenidos indican que la utilización de agrominerales y mejoradores de suelos, como las zeolitas cargadas con amonio y las calcilutitas, puede ser una estrategia beneficiosa para aumentar la productividad de los cultivos en la región de Moa.

El uso de agrominerales basados en tobas cargadas con amonio presenta diversas ventajas en la región de Moa, tales como la mejora de la fertilidad del suelo, el aumento de la eficiencia en la absorción de nutrientes, la reducción de la contaminación ambiental y el incremento de la productividad agrícola. En cuanto a la rehabilitación minera, el uso de estos agrominerales en suelos degradados por la actividad minera podría contribuir significativamente a su restauración. Asimismo, ayudaría a la reducción de la contaminación ambiental, promovería la reutilización de residuos mineros y generaría ingresos adicionales para las empresas mineras de la región. En conjunto, estas prácticas podrían tener un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y económica de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J. (1999). *Uso de zeolita natural en el tratamiento del licor residual carbonato amoniacal*. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa [PhD Thesis]. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Almenares Reyes, R. S. (2011). *Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico* [Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”]. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3507>
- Beltrán, M. J., Romaniuk, R. I., Herrmann, C., Fernandez, A., Mousegne, F., & Jecke, F. (2019). Roca fosfórica y yeso agrícola: Complemento a la fertilización tradicional en el cultivo de soja. *Ciencia del suelo*, 37(1), 180-185. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672019000100017&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Gaona, P., Vásquez, L., Viera, W., Morales, C., Viteri, P., Sotomayor, A., Medina, L., Mejía, P., & Cartagena, Y. (2020). EFECTO DE DOS NIVELES DE NITRÓGENO Y POTASIO APLICADOS POR FERTIRRIEGO EN LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO Y CONCENTRACIÓN DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN PLANTAS DE AGUACATE (*Persea americana* Mill.) Var. HASS. *ECUADOR ES CALIDAD*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.114>
- Garlobo Plutin. (2023). *Valoración de un mejorador de suelos a base de tobas zeolitizadas cargadas con residual amoniacal y calcilutitas, en cultivos de habichuela*.
- Gindri Ramos, C., dos Santos de Medeiros, D., Gomez, L., Silva Oliveira, L. F., Homrich Schneider, I. A., & Muller Kautzmann, R. (2019). Evaluation of Soil Re-mineralizer from By-Product of Volcanic Rock Mining: Experimental Proof Using Black Oats and Maize Crops. *Natural Resources Research*, 29, 1583-1600. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>.
- Hernández-Jiménez, A. (2021). Área que ocupan los agrupamientos y tipos genéticos de los suelos en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 42(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362021000300013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Jiménez Ramírez, I. (2018). *Desarrollo de sistemas de información geográficos para el servicio pedólogo-agroquímico en el polígono de suelos de la unidad básica de producción cooperativa Sur del Jíbaro* [Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola]. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/10859>
- Orozco-Melgar, G. A., & Cuza-Fernández, G. R. (2022). Aplicación de agromineral de tobas y residual amoniacal del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia & Futuro*, 12(4), Article 4. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2220>
- Pérez-García, L. A., Crespo-Lambert, M., Leyva-Rodríguez, C. A., & Cuza-Fernández, G. (2023). La bioacumulación de metales pesados y el desarrollo de la agricultura urbana en Moa. *Minería y Geología*, 39(3), 174-187. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1993-80122023000300174&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Pérez-Martín, E. L. (2013). *Evaluación de alternativas organominerales en condiciones de maceta utilizando el caféto (Coffea arabica L.) como planta indicadora en Topes de Collantes* [Tesis de Maestría, Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez]. <http://dspace.uniss.edu.cu:8080/handle/123456789/1191>
- USDA. (2014). *The USDA Barley Core Collection: Genetic Diversity, Population Structure, and Potential for Genome-Wide Association Studies* | PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0094688>
- Velázquez Garrido, M., Febles, J. A., Alonso Pérez, J. A., & Montejo Serrano, E. (2011). ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS DE FERTILIZACIÓN PARA DIVERSOS CULTIVOS. *INFOMIN*, 3(2), 32-41. <https://pdfrock.com/free-compress-pdf.html>
- Yalima Céspedes Piña. (2023). *Valoración de la zeolita cargada con el residual amoniacal, mezclada con tobas vítreas para su utilización como agromineral en la producción del cultivo de pepino, en el organopónico de Miraflores*.
- Zhang, G., Kang, J., Wang, T., & Zhu, C. (2018). Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. *Soil Research*, 56(2), 113. <https://doi.org/10.1071/SR17157>