

Evaluación de la retención de humedad en suelos lateríticos mediante la aplicación de agrominerales

Evaluation of moisture retention in lateritic soils by applying agromineral

Daliana María Arjona Mendoza damendoza@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Carlos Alberto Leyva Rodríguez cleyva@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Luis Alberto Pérez García lapgarcia@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Giorvys Ramón Cuza Fernández gcuza@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

Juan Carlos Romero Santos jromerosantos05@gmail.com ⁽²⁾

⁽¹⁾Universidad de Moa, Moa, Cuba ⁽²⁾Centro Universitario, Sagua de Tánamo, Cuba

Resumen: Se evaluó la influencia de la capacidad de absorción y retención de agua en los suelos del organopónico de la Universidad de Moa, con la adición de agrominerales. Para el mismo, se emplea el método analítico de la humedad gravimétrica. Los materiales geológicos que se emplean en los ensayos experimentales son tobas vítreas, tobas zeolitizadas cargadas con residuo amoniacal, calcilutitas y el suelo laterítico. Los resultados muestran que las calcilutitas, con su estructura poco porosa, presentan baja capacidad de absorción, mientras que las tobas, ricas en minerales absorbentes, exhiben mayor capacidad de retención de agua.

Palabras claves: agricultura urbana, minerales naturales, productividad agrícola

Abstract: The influence of water absorption and retention capacity in the soils of the organoponico at Moa University, with the addition of agromineral was evaluated. For this purpose, the analytical method of gravimetric humidity was used. The geological materials used in the experimental tests are vitreous tuffs, zeolitized tuffs with high quantity of ammonia residue in it, calcilutites and lateritic soil. The results show that calcilutite, have a low absorption capacity, while tuffs, rich in absorbent minerals, and have a higher water retention capacity with their low porous structure.

Key words: urban agriculture, natural minerals, agricultural productivity

Introducción

La búsqueda de soluciones sostenibles para mejorar la productividad agrícola y la calidad del suelo es una prioridad global en la actualidad. La agricultura sostenible es clave para garantizar la seguridad alimentaria y la protección de los recursos naturales para las generaciones futuras. En este sentido, los agrominerales se presentan como una opción innovadora y prometedora para abordar estos desafíos (Domingo Santos, 2006; Jiménez Ramírez, 2018).

Los agrominerales son materiales minerales naturales que pueden mejorar significativamente las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Beltrán *et al.*, 2019; Trigo Zapotoski & Ferreira, 2023). Este enfoque sostenible es de particular relevancia en la agricultura moderna, donde la gestión adecuada del suelo es crucial para mantener la productividad de los cultivos y la salud a largo plazo de los ecosistemas agrícolas. Orozco Melgar & Cuza Fernández (2022) destacan su importancia para el mejoramiento de los suelos lateríticos de Moa en la provincia de Holguín.

El suelo es un recurso natural esencial y no renovable, cuya formación y recuperación son procesos lentos. Juega un papel crítico en la agricultura al proporcionar nutrientes, agua y soporte a los cultivos, así como al participar en los ciclos del agua, nitrógeno, carbono y fósforo. Sin embargo, el manejo inadecuado en los sistemas agropecuarios puede deteriorar las propiedades químicas del suelo, afectando su fertilidad y reduciendo el rendimiento de los cultivos (Ferrerías *et al.*, 2015).

El insuficiente almacenamiento de agua de los suelos lateríticos de Moa impacta de manera directa en el crecimiento de las plantas y la productividad agrícola. Esta dificultad en la retención de agua puede comprometer el éxito de los programas alimentarios y afectar negativamente el crecimiento de la economía local (Cuza Fernández, 2023). Por lo tanto, es imperativo encontrar soluciones efectivas para mejorar la capacidad de retención de agua de estos suelos.

Las zeolitas son usadas para mejorar la calidad de los suelos para la agricultura (Sobus *et al.*, 2020; Torri *et al.*, 2021; Thatikayala, Noori & Min, 2023; Affendi *et al.*, 2023; Umejuru *et al.*, 2023; Turki, Hamdouni & Enesca, 2023; Maubert, Rojas & Castañeda, 2024). Son minerales cuya estructura se encuentra atravesada por infinidad de canales que la convierten en un verdadero tamiz, lo que determina en gran medida sus

propiedades más importantes como el intercambio catiónico, la adsorción (como proceso físico) y su capacidad de hidratación-deshidratación (Díaz, Liriano & Abreu, 2019).

La aplicación de fertilizantes producidos a partir de minerales constituyentes de rocas carbonatadas, tobas vítreas y zeolitizadas, con la adición de un residual amoniacal del proceso tecnológico CARON, ha sido propuesta como una solución local para mejorar la calidad del suelo de manera sostenible. Este enfoque, propuesto por Orozco & Cuza (2022), aporta elementos químicos esenciales como nitrógeno, magnesio y calcio al suelo laterítico para mejorar su capacidad de retención de agua y proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para su crecimiento óptimo.

La capacidad de retención de humedad del suelo es un aspecto crucial que influye en el crecimiento de las plantas, la salud del suelo y la gestión adecuada del agua en diversos sistemas ambientales. Weil y Brady (2017) enfatizan la importancia de este parámetro físico, que describe la cantidad de agua que el suelo puede retener contra la fuerza de la gravedad.

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar la influencia de la capacidad de absorción y retención de agua del suelo laterítico, con la adición de un agromineral en la productividad agrícola del organopónico de la Universidad de Moa, mediante el método de humedad gravimétrica.

Materiales y métodos

Según lo expresado por Riverón, Rodríguez & Linares (2009), la humedad es un parámetro variable en el tiempo y se incrementa con la profundidad. Los menores valores se encuentran en la parte superior del corte, denominada ferralita o ferricreta. Esta zona es la de mayor tamaño de partículas granulométricas y se encuentra expuesta a los procesos de secado debido a la evaporación y el viento.

Para entender mejor este fenómeno en los suelos del organopónico de la universidad, se analizó las características químicas y mineralógicas de la capa superior de un perfil laterítico (*in situ*) (Riverón, Rodríguez & Linares, 2009).

Zona limonítica superior (ferralita o ferricreta): La potencia de la capa es variable entre 0.2-15 m. La fracción arena puede llegar al 5%. El pH del agua de poros es ligeramente

ácido (5.1-6.5). La mineralogía predominante es óxido e hidróxido de hierro (hematita y goethita) (Tabla 1).

Tabla 1. Elementos químicos mayoritarios en la zona limonítica superior (Riverón, Rodríguez & Linares, 2009).

Ni	Fe	Mg	Cr	Al	Mn	Co
< 0,7 %	35-50 %	1-5 %	1-3 %	5-10 %	> 1 %	0,01-0,07%

Las materias primas empleadas para producir el agromineral estuvieron compuestas mineralógicamente, en su mayoría; por minerales del grupo de la zeolita en sus fases clinoptilolita-heulandita y mordenita en tobas zeolitizadas, vidrio volcánico y arcillas montmorilloníticas en tobas vítreas, material carbonatado en las calcilutitas, y el residuo amoniacal como resultado del proceso niquelífero. La composición química de estos materiales se muestra en las tablas 2, 3, 4 y 5.

Tabla 2. Resultados de análisis químicos. Tobas zeolitizadas San Andrés (Almenares Reyes, 2011)

Óxido	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O
%	65,55	0,276	11,75	1,43	2,824	0,947	1,376	1,677

Tabla 3. Resultados de análisis químicos. Vidrio Volcánico Sagua de Tánamo (Almenares Reyes, 2011)

Óxido	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O
%	60,86	0,49	13,63	4,58	5,34	2,64	1,87	2,27

Tabla 4. Resultados de análisis químicos. Calcilutitas de Yaguaneque (Cuza-Fernández, 2023)

Óxido	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MnO₂	K₂O
%	3,02	ND	1,77	1,34	52,22	0,04	2,27

Tabla 5. Composición química del residual amoniacal de la empresa Che Guevara (Aguirre, 1999)

NH₃ (mg/L)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)	Fe (mg/L)	Mg (mg/L)
1,500 a 2000	30-40	0,25-0,3	0,1-0,15	0,6-0,7

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en tres etapas: 1) Trabajo de campo; 2) Ensayos de laboratorios; 3) Trabajo de gabinete.

Trabajo de campo

El trabajo de campo realizado implicó el reconocimiento, la localización y la extracción de materias primas para la elaboración de un agromineral. Este mejorador de suelos está compuesto por tobas zeolitizadas del depósito San Andrés en Holguín, tobas vitroclásticas del depósito El Picao en Sagua de Tánamo, rocas carbonatadas del depósito

de Yaguaneque en Moa y el residuo amoniaco de la fábrica procesadora del níquel Ernesto Che Guevara.

La granulometría de las tobas zeolitizadas se redujo de 1 a 3 mm, según lo recomendado por Soca & Daza-Torres (2016) para su empleo en la agricultura; las tobas vitroclásticas de 0,1 a 0,8 mm, según lo recomendado por Cuza-Fernández (2023); mientras que las calcilutitas y el suelo laterítico se empleó en su granulometría natural. Se conformaron doce muestras para los ensayos de laboratorios, obtenidas a partir de la mezcla del suelo laterítico con el agromineral, a una profundidad de 20 cm.

Preparación de muestras y ensayos de laboratorios

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Hidrogeología de la Universidad de Moa. Se llevaron a cabo dos experimentos: el primero en condiciones naturales utilizando ocho muestras compuestas por diferentes combinaciones de suelo laterítico: lateritas más calcilutitas, lateritas más tobas vítreas, lateritas más tobas zeolitizadas; y el segundo en condiciones de saturación de agua en el laboratorio, utilizando cuatro muestras simples de estos materiales.

El primer experimento consistió en agregar un 20 % de agua por encima del volumen de las muestras obtenidas en el terreno. Luego se pesó en una balanza analítica con capacidad máxima de 120 gramos, para obtener su peso inicial húmedo. Seguidamente se colocó en una mufla a 105°C durante 6 horas y se volvieron a pesar para obtener su peso final seco. Al día siguiente se repitió este mismo procedimiento para determinar su variación de peso y; por tanto, su pérdida de humedad/día.

El segundo experimento consistió en secar las muestras en una estufa hasta perder su humedad natural total. Luego se les añadió 20 ml de agua y se procedió al primer pesaje, para obtener su peso inicial húmedo. Durante los próximos cuatro días se pesaron las muestras en la balanza para determinar la retención de humedad de estos materiales a una temperatura ambiente. Los materiales empleados en el proceso de pesaje y secado de las muestras fueron mufla, balanza analítica y *beaker*.

Trabajo de gabinete

En esta etapa, se procesaron los datos obtenidos en los ensayos de laboratorios para determinar la capacidad de absorción y retención de agua, mediante el método analítico

de la Humedad Gravimétrica (%). Este método implica medir el contenido hídrico del suelo a través del peso, expresando los resultados como un porcentaje de humedad en relación con la masa del suelo seco o en gramos de agua por gramo de suelo seco, el cual es una forma de expresar el contenido hídrico del suelo midiendo su peso total. La ecuación utilizada para calcular la humedad gravimétrica es:

$$Wp = \frac{qh - qs}{qh} \times 100$$

Donde:

Wp: humedad del peso, (%)

qh: peso de la muestra húmeda, (g)

qs: peso de la muestra seca después del secado en la mufla, (g).

Resultados y discusión

A partir del estudio realizado en la Universidad de Moa, se evaluó la capacidad de absorción y retención de agua en el suelo laterítico mediante la aplicación de agrominerales, con el fin de mejorar la productividad agrícola y la fertilidad del terreno.

En la figura 1 se revela que las tobas vítreas presentan una menor pérdida de peso en comparación con otros materiales durante el proceso de secado a 105 grados. Este fenómeno puede estar relacionado con la capacidad de retención de agua de las tobas vítreas, la cual puede deberse a la presencia de poros en su estructura o por el contenido elevado de arcilla montmorillonítica.

Es recomendable realizar análisis adicionales como pruebas de absorción de agua, porosidad y densidad de los materiales. Estos datos contribuyen a entender mejor la relación entre la estructura de las tobas vítreas y su capacidad de retención de agua.

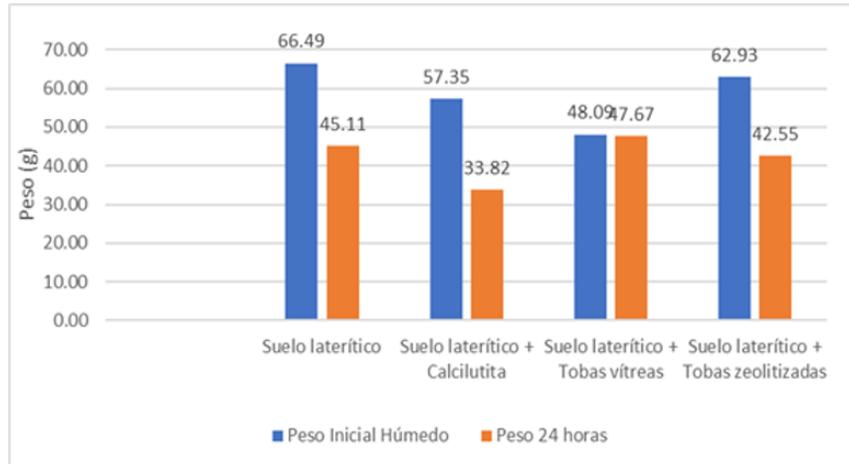


Figura 1. Pérdida de agua.

El análisis del gráfico de la figura 2, que muestra la pérdida de agua gravimétrica normalizada contra el peso seco de 105 grados, refuerza la conclusión previamente establecida en relación con las tobas vítreas y su capacidad de retención de agua. En este caso, se observa que todos los materiales presentan una marcada tendencia a la pérdida de agua, pero los valores más bajos corresponden nuevamente a las tobas vítreas, lo que sugiere que la presencia de poros en su estructura es un factor determinante en su comportamiento durante el proceso de secado.

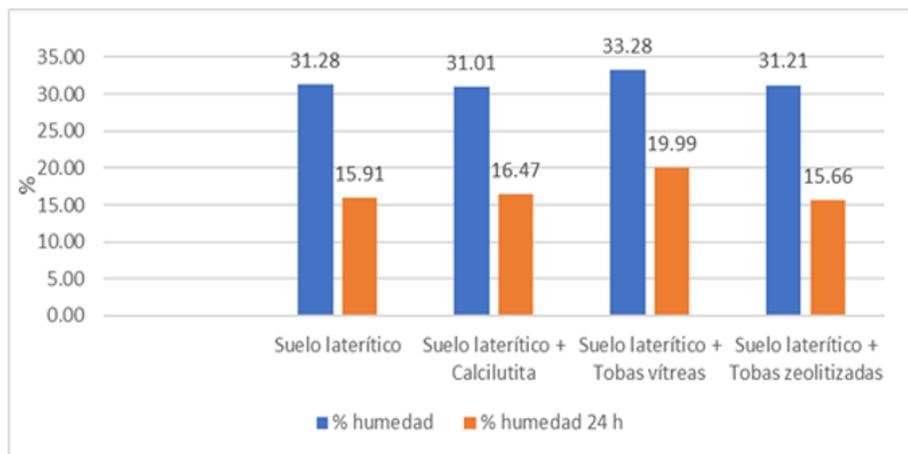


Figura 2. Retención de agua gravesimétrica.

El análisis del gráfico de la figura 3, que muestra la correlación entre la pérdida de peso en gramos durante el secado a 105°C y el cálculo de retención de agua gravesimétrica normalizada en esa misma temperatura, proporciona información adicional sobre la relación entre estos dos factores y cómo se relacionan con las propiedades de retención de agua de los materiales, especialmente en el caso de las tobas vítreas. Esto sugiere

que la cantidad de agua que un material es capaz de retener está directamente relacionada con la cantidad de líquido que pierde durante el proceso de secado.

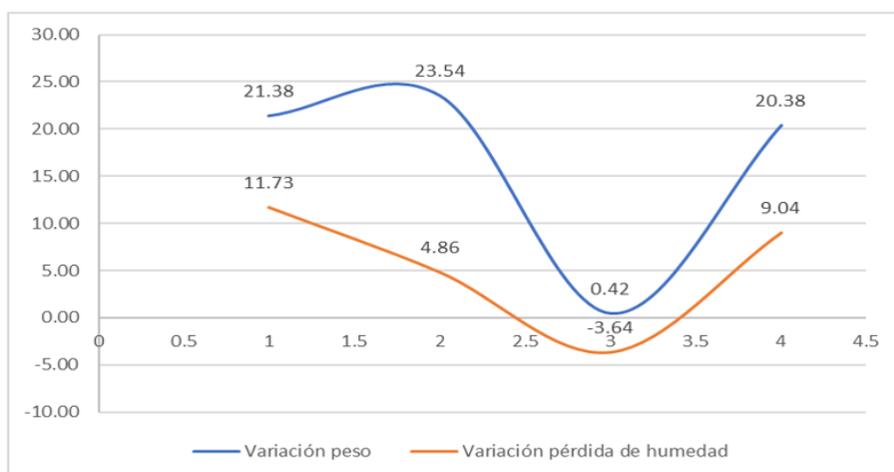


Figura 3. Correlación entre pérdida de peso y retención de agua gravimétrica.

Hasta este momento se evaluó la capacidad de los cuatro materiales para retener agua, en condiciones naturales, logrando el contacto con agua de los materiales en el campo, pero no saturando las muestras. La saturación de agua en condiciones artificiales (o de laboratorio) de los diferentes materiales puede ofrecer resultados diferentes.

El gráfico de la figura 4 muestra la tendencia a la pérdida de agua durante un período de 4 días en materiales saturados de agua. En primer lugar, se observa que tanto las tobas vítreas como las tobas zeolitizadas muestran la mayor tendencia a retener agua. Esto refuerza lo discutido anteriormente sobre la capacidad de retención de agua de las tobas vítreas basada en su porosidad. Sin embargo, se destaca que las tobas zeolitizadas presentan una mejor tendencia a retener agua en comparación con las tobas vítreas en esta situación específica.

La superior capacidad de retención de agua de las tobas zeolitizadas en condiciones de saturación, se atribuye principalmente a la presencia de minerales absorbentes en su composición, como las arcillas montmorilloníticas y minerales del grupo de la zeolita, los cuales contribuyen a mejorar los fenómenos de absorción y retención de agua en este tipo de material.

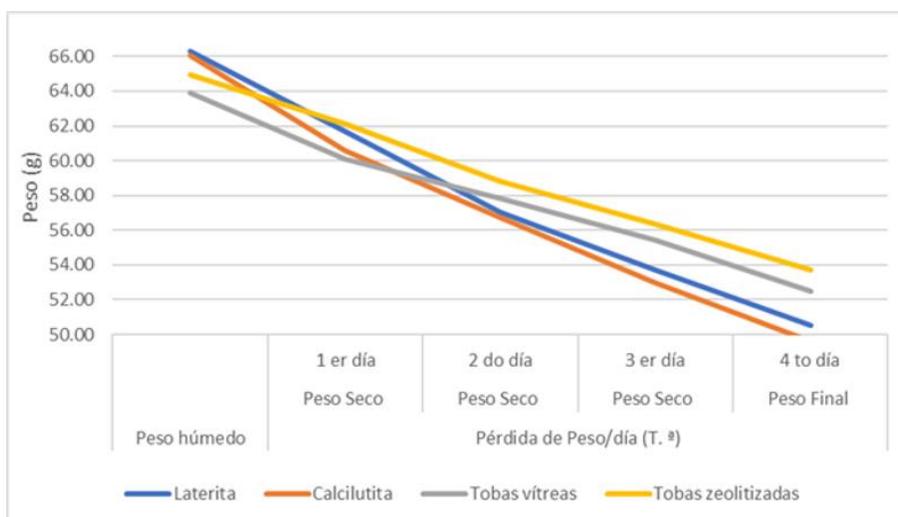


Figura 4. Tendencia a la pérdida de peso.

El análisis del gráfico presentado en la figura 5 muestra la cantidad de agua (en peso) absorbida por los diferentes materiales tras la saturación en el laboratorio. A partir de la comparación entre el peso seco inicial de los materiales y su peso tras la saturación con agua, se puede establecer que todos los materiales son capaces de absorber agua, pero las calcilutitas son los que presentan las mayores limitaciones en este aspecto.

En línea con los hallazgos anteriores, se puede concluir que las calcilutitas en general exhiben los peores valores de absorción y retención de agua en comparación con los otros materiales estudiados. Este resultado se debe principalmente a la falta de porosidad efectiva en su estructura, lo que no permite la absorción del líquido. Esto también se relaciona con su composición mineralógica, ya que las calcilutitas no presentan minerales arcillosos absorbentes que permitan la retención de humedad.

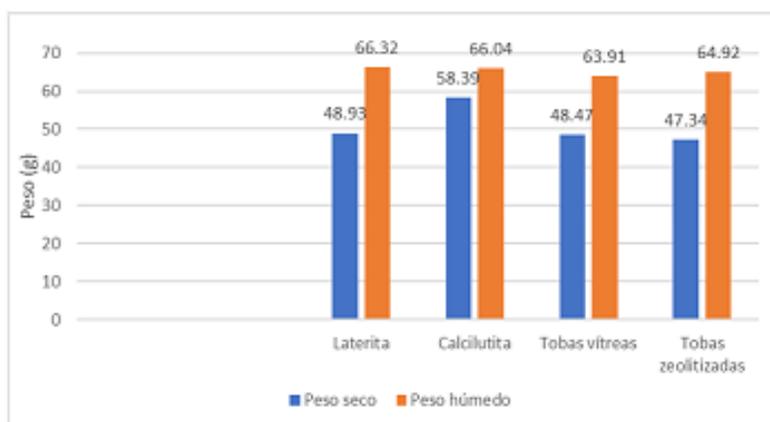


Figura 5. Capacidad de absorción de agua.

El análisis del gráfico presentado en la figura 6 muestra la retención de agua gravimétrica normalizada al peso seco del experimento. Una vez más, se puede observar que las tobas, especialmente las tobas zeolitizadas, son los materiales que retienen la mayor cantidad de agua; lo que está relacionado con la presencia de minerales zeolíticos en su composición y su estructura porosa favorece la absorción y retención del líquido.

En contraste, las calcilutitas exhiben valores negativos en la retención de agua gravimétrica, lo que indica que tienen una facilidad para perder el agua que son capaces de absorber. Es interesante notar que, a partir del segundo día del experimento, los pesos de las calcilutitas son menores que el peso seco obtenido en el primer día, lo cual sugiere que estos materiales son capaces de deshidratarse por completo de manera natural, posiblemente debido a su pobre capacidad de retención de agua.

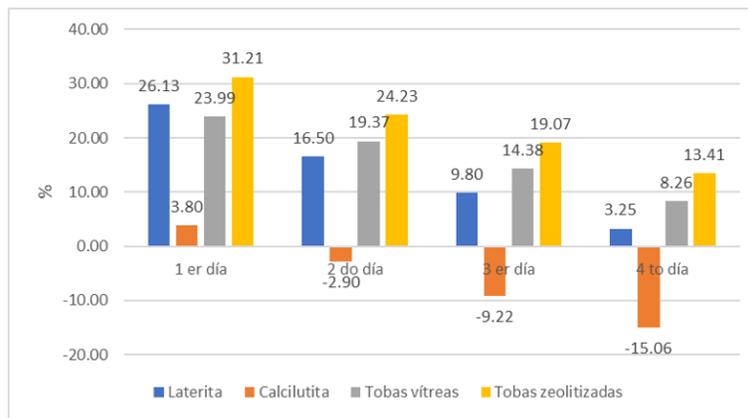


Figura 6. Retención de agua gravimétrica.

Hasta este punto, se ha llevado a cabo un análisis detallado de las propiedades de absorción y retención de agua de varios materiales geológicos, incluyendo calcilutitas, tobas vítreas, tobas zeolitizadas y lateritas. El análisis de la retención de agua gravimétrica normalizada al peso seco del experimento confirma que las tobas son los materiales que retienen la mayor cantidad de agua, mientras que las calcilutitas muestran una mayor tendencia a la pérdida de humedad.

Los resultados de los experimentos muestran que las calcilutitas presentan las peores capacidades de absorción y retención de agua entre los materiales estudiados, probablemente debido a su composición mineralógica y estructura poco porosa. En contraste, las tobas vítreas y zeolitizadas, exhiben una mayor capacidad para retener agua debido a la presencia de minerales absorbentes como las arcillas montmorilloníticas y las zeolitas, además de su estructura porosa favorable.

Las tablas 6 y 7 reflejan los resultados estadísticos de las muestras experimentadas, tanto en condiciones naturales como de saturación de agua. En el mismo se puede observar el peso inicial de la muestra húmeda y el peso final de la muestra seca, su variación de peso con el tiempo, capacidad de absorción de agua de los materiales y por ciento de humedad retenida.

Tabla 6. Resultados estadísticos del primer experimento

Mezcla	Peso inicial	Peso 24 horas	Variación de peso	Peso final seco	Peso final seco 24 h	Variación perdida de humedad	Por ciento humedad	Por ciento humedad 24 h
Suelo laterítico	66,49	45,11	21,38	50,65	38,92	11,73	31,28	15,91
Suelo laterítico + calcilutita	57,35	33,82	23,54	43,78	29,04	4,86	31,01	16,47
Suelo laterítico + tobas vítreas	48,09	47,67	0,42	36,08	39,73	-3,64	33,28	19,99
Suelo laterítico + tobas vítreas	62,93	42,55	20,38	47,96	36,79	9,04	31,21	15,66

Tabla 7. Resultados estadísticos del segundo experimento

Materiales	Peso seco	Peso húmedo	Pérdida de peso/día			
			Peso seco 1 ^{er} día	Peso seco 2 ^{do} día	Peso seco 3 ^{er} día	Peso final 4 ^{to} día
Laterita	48,93	66,32	61,72	57,00	53,72	50,52
Calcilutita	58,39	66,04	60,61	56,69	53,01	49,60
Tobas vítreas	48,47	63,91	60,10	57,86	55,44	52,47
Tobas zeolitizadas	47,34	64,92	62,12	58,81	56,37	53,69

Conclusiones

Se reconoció a partir de los análisis químicos y mineralógicos realizados por estudios precedentes que, el suelo laterítico del organopónico de la Universidad de Moa presenta altos contenido de óxidos e hidróxidos de hierro (35-50 %) representado por hematita y goethita, las tobas vítreas presentan altos valores de sílice (60,86 %) y predominio de minerales del grupo de la arcilla principalmente montmorillonita, las tobas zeolitizadas tienen un alto contenido de sílice (65,55 %) y está representada por minerales del grupo de la zeolita en sus fases clinoptilolita-heulandita y mordenita, en el caso de la calcilutita contiene altos valores de calcio (52,22 %) y mineralógicamente está representada por minerales del grupo actinolita-tremolita.

Se determinó que los materiales que poseen mejor capacidad de retención y absorción de agua son las tobas vítreas con un 19,99 % al cabo de 24 horas en condiciones naturales, y las tobas zeolitizadas con un 13,41 % al cabo de cuatro días en condiciones de saturación de agua en el laboratorio. Esto, debido a la presencia de una estructura

porosa y el contenido de minerales arcillosos y zeolíticos, a diferencia de las calcilitas que no presentan propiedades físicas y mineralógicas que permitan la retención de humedad y el almacenamiento de agua.

El experimento realizado contribuyó positivamente a lograr un mayor incremento de la productividad agrícola en el organopónico de la Universidad de Moa. Su capacidad de retención de humedad, en estos materiales, permitió un mayor rendimiento en las cosechas. Estos cultivos se beneficiaron del agua necesaria para su crecimiento y desarrollo; además de la absorción de nutrientes ricos en contenidos de nitrógeno, magnesio y calcio, lo cual también ayuda a disminuir la acidez del suelo y aumentar la fertilidad del terreno.

Referencias bibliográficas

- Affendi, S., Munir, J., Berd, I., Sunadi, S., Haryoko, W., Z., Utama, M.Z.H., & Novia, P. (2023). The role of zeolite and NPK fertilizer on Maize (*Zea mays* L). Growth in Inceptisol, Southern Solok District. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9(4), 95- 103. <https://doi.org/10.9734/ajssson/2023/v9i4195>
- Aguirre, J. (1999). *Uso de zeolita natural en el tratamiento del licor residual carbonato amoniacal*. (Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba).
- Almenares Reyes, R.S. (2011). *Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico*. (Tesis doctoral, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba). <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?pid=S1850-20672019000100017&script=sci_arttext&tIng=en
- Cuza-Fernández, G. R. (2023). *Factibilidad técnico-económica de la producción de un agromineral en Moa, Holguín, Cuba*. (Tesis de Maestría, Universidad de Moa, Cuba).
- Díaz, H.J., Liriano, R. & Abreu, E.O. (2019). Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum*

tuberosum L.) *Revista Centro Agrícola*, 46(1), 24-30.

<https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2019/vol46/no1/4.pdf>

Domingo Santos, J., R. Fernández de Villarán, S., Corral Pazos de Provens, E. & Rapp Arrarás, Í. (2006). Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigaciones agrarias*, 15(1), 14-23.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1710768>

Maubert, A. M. Rojas, R. & Castañeda, A.A. (2024). Properties and applications of natural zeolites. *Brazilian Journal of Development*, 10(1), 1713-1799

<https://doi.org/10.34117/bjdv10n1-110>

Orozco Melgar, G. A. & Cuza Fernández, G. R. (2022). Aplicación de agromineral de tobas y residual amoniaco del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia y Futuro*, 12(4), 497-511.

<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2220>

Riverón, B., Rodríguez, R. & Linares, R. (16-20 de marzo de 2009). *Características físicas del perfil del suelo laterítico "in situ": relación con el contenido de níquel, cobalto, hierro y cromo. Ejemplo del yacimiento Moa, Holguín. Cuba. Tercera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Cuba.*

Sobuś, N., Czekaj, I., Diichuk, V. & Kobasa, I. (2020). Characteristics of the structure of natural zeolites and their potential application in catalysis and adsorption processes.

Technical Transactions, 117(1). <https://doi.org/10.37705/TechTrans/e2020043>

Soca, M. & Daza-Torres, M. C. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencias*, 50(8), 965-976.

<https://www.redalyc.org/pdf/302/30249305002.pdf>

Thatikayala, D., Noori, M.T. & Min, B. (2023). Zeolite-modified electrodes for electrochemical sensing of heavy metal ions. Progress and future directions. *Materials Today Chemistry*, 29, 101412.

<https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2023.101412>

Torri, S. I. Amaturro, J. I., Sánchez, L. & Pacheco-Ruiz, E.O. (2021). Efecto de las zeolitas sobre ciertas propiedades de un suelo enmendado con biosólidos. *Revista*

Internacional de contaminación ambiental, 37, 419-430.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v37/0188-4999-rica-37-53796.pdf>

Trigo Zapotoski, R. G. & Ferreira, K. (2023). Agrominerais-fertilizantes e corretivos de acidez do solo. *Revista Foco*, 16(12).
<https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3622>

Turki, T., Hamdouni, A. & Enesca A. (2023). Fluoride Adsorption from aqueous solution by modified Zeolite-Kinetic and Isotherm studies. *Molecules*, 28(10).
<https://doi.org/10.3390/molecules28104076>

Umejuru, E. C., Mashifana, T., Kandjou, V., Amani-Beni, M., Sadeghifar, H., Fayazi, M., Karimi-Maleh, H. & Sithole, N. T. (2023). Application of zeolite based nanocomposites for wastewater remediation: Evaluating newer and environmentally benign approaches. *Environmental research*, 231(1), 116073.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116073>

Weil, R. & Brady, N. (2017). Capacidad de retención de agua del suelo. En *Elementos de la ciencia del suelo*. Pearson Educación.