

Propiedades físicas de los fertilizantes AGROMENAS-G y NEREA producidos en la Empresa Geominera del Centro

Physical properties of AGROMENAS - G and NEREA fertilizers produced at the Empresa Geominera del Centro

⑩Omar González-Cueto^{1*}, ⑩Melisa García-Valera¹, ⑩Elvis López-Bravo¹, ⑩Edith Aguila-Alcantara², ⑩Emma Pineda-Ruiz³, ⑩Ubaldo Álvarez-Hernández² and ⑩Osmany Aday de la Caridad Díaz³

¹Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-mail: elvislb@uclv.edu.cu

²Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Agronomía, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-mail: editha@uclv.edu.cu, ubaldoah@uclv.edu.cu

³Instituto Investigaciones de la Caña de Azúcar, INICA, Villa Clara, Cuba. E-mail: emma.pineda@inicavc.azcuba.cu, osmany7010@gmail.com, osmany.aday@inicavc.azcuba.cu

*Autor para correspondencia: Omar González-Cueto, e-mail: omar@uclv.edu.cu

RESUMEN: El desempeño de las fertilizadoras durante la aplicación mecanizada de fertilizantes depende de las propiedades físicas de estos. Por lo tanto se hace necesario conocer estas propiedades de cualquier fertilizante nuevo. El presente trabajo se realizó con el objetivo de determinar propiedades físicas de los fertilizantes AGROMENAS - G y NEREA, que influyen en su aplicación mecanizada. La metodología empleada incluyó la determinación de la granulometría, densidad aparente, humedad y ángulo de reposo del material, a partir de la utilización de métodos conocidos y disponibles en la literatura científica. Los resultados mostraron que el fertilizante en base a zeolita NEREA, tiene una granulometría donde el 72.61% del material tiene tamaños de partícula entre 2 y 4 mm, que la densidad aparente del material es de 1120 kg m^{-3} , la humedad es de 6.03% y el ángulo de reposo de 31.12° . Por otra parte, la AGROMENAS - G, tiene una granulometría donde el 56.6% del material tiene tamaños de partícula inferiores a 1 mm, la densidad aparente del material es de 1350 kg m^{-3} , la humedad es de 6.06% y el ángulo de reposo de 29.34° .

Palabras clave: granulometría, densidad aparente, ángulo de reposo.

ABSTRACT: The performance of fertilizer spreaders during mechanized fertilizer application depends on their physical properties. Therefore, it is essential to understand the properties of any new fertilizer. This study aimed to determine the physical properties of AGROMENAS - G and NEREA fertilizers, which influence their mechanized application. The methodology used included determining the particle size distribution, bulk density, moisture content, and angle of repose of the material using well-known methods available in the scientific literature. The results showed that the NEREA zeolite-based fertilizer has a particle size distribution in which 72.61% of the material has particle sizes between 2 and 4 mm, that the bulk density of the material is 1120 kg m^{-3} , the moisture content is 6.03%, and the angle of repose is 31.12° . AGROMENAS - G, on the other hand, has a particle size distribution where 56.6% of the material has particle sizes less than 1 mm, the bulk density is 1350 kg m^{-3} , the moisture content is 6.06%, and the angle of repose is 29.34° .

Keywords: particle size distribution, bulk density, angle of repose.

INTRODUCCIÓN

Las zeolitas son rocas naturales con propiedades físicas excepcionales, gracias a su estructura cristalina que se encuentra atravesada por infinidad de canales que la convierten en un efectivo tamiz. Esta rejilla tridimensional determina en gran medida sus propiedades más importantes: como alto nivel de intercambio catiónico y selectividad de iones, gran capacidad de absorción, hidratación - deshidratación reversible, gran estabilidad térmica y resistencia ante agentes agresivos (Rodríguez *et al.*, 2011; Díaz *et al.*, 2019).

La zeolita la constituyen tetraedros de silicato SiO_4 , (cuatro iones de oxígeno que rodean un ion central de silice o aluminio) unidos mediante átomos de oxígeno, de forma que una parte de los átomos de silicio está sustituida por átomos de aluminio formando AlO_4 . Así se genera una estructura espacial típica, con una cantidad considerable de cavidades unidas mediante canales pequeños donde se colocan los cationes metálicos o las moléculas de agua. Son aluminosilicatos cristalinos y porosos que les permite el intercambio iónico sin cambiar su estructura atómica (Paredes *et al.*, 2013; Ferrán & Núñez, 2023).

Recibido: 20/03/2025

Aceptado: 18/09/2025

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** O. González. **Curación de datos:** E. López. **Ánálisis formal:** O. González, E. López.

Investigación: M. García, O.A. de la Caridad. **Metodología:** O. González, E. Águila. E. Pineda, O.A. de la Caridad. **Supervisión:** O. González. **Validación:** U. Álvarez. **Recursos:** O.A. de la Caridad. **Redacción, proyecto original:** O. González, E. Águila, E. Pineda.

Redacción, revisión y edición: O. González, E. Águila, E. Pineda.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



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/>



La aplicación de zeolitas al suelo mejora sus propiedades físicas y químicas. Especialmente las relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la zona de las raíces o rizosfera (Osuna *et al.*, 2012; Días & Núñez, 2016; Soca & Daza, 2016). Por su alta capacidad de intercambio iónico, la zeolita aumenta la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NH_4^+), liberándolos gradualmente a las raíces y reduciendo pérdidas por lixiviación. Permite retener humedad en el suelo, liberándola gradualmente para las plantas. Esto mejora la disponibilidad hídrica y reduce la frecuencia del riego, especialmente valioso en suelos arenosos o en zonas con sequías frecuentes. Al incorporarse al suelo, la zeolita mejora la porosidad, aireación, evita compactación y facilita el drenaje, lo que favorece el desarrollo radicular y previene enfermedades. Al retener y liberar lentamente nutrientes, disminuye la necesidad y frecuencia de fertilización química, mejorando la eficiencia de los fertilizantes y reduciendo la contaminación ambiental (Paredes *et al.*, 2013; Ferrán & Núñez, 2023; Muñiz *et al.*, 2024).

La poca disponibilidad de fertilizantes químicos, en Cuba, debido a sus altos precios en el mercado internacional, provoca, dentro de otras causas asociadas, la obtención de bajos rendimientos agrícolas. En el caso de la caña de azúcar en el año 2022 se obtuvieron solo 32.8 t ha^{-1} (ONEI, 2024).

La Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, coordina un proyecto de investigación del Programa Nacional: Desarrollo de la Agroindustria de la Caña de Azúcar, financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, con título: “Incremento de la producción de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) mediante el uso de abonos órgano minerales y un bioestimulante de producción nacional”. Los fertilizantes a los que se refiere el proyecto son AGROMENAS - G y NEREA (ambos con base en zeolita) con los cuales se pudiera suplir el déficit de nutrientes de los suelos cañeros.

La aplicación de los fertilizantes a la caña de azúcar, debido a la gran cantidad de hectáreas de suelo que deben fertilizarse en pequeños períodos de tiempo, hace imprescindible el uso de la mecanización agropecuaria. Sin embargo, las propiedades físicas (granulometría, densidad aparente, ángulo de talud en reposo) de estos fertilizantes difieren de los que tradicionalmente se aplican a la caña de azúcar. Por lo tanto, se hace necesario conocer cuáles son las propiedades físicas, de los fertilizantes AGROMENAS - G y NEREA, que influyen en la aplicación mecanizada de estos productos. A partir de estos elementos se realiza esta investigación que tiene como objetivo: determinar propiedades físicas de los fertilizantes AGROMENAS - G y NEREA, que influyen en su aplicación mecanizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu”

de las Villas, en el período comprendido entre septiembre de 2023 y septiembre 2024. Las muestras utilizadas fueron de AGROMENAS - G y NEREA provenientes de un lote de producción de la Empresa Geominera del Centro.

Metodología utilizada para la determinación de la granulometría

Se tomó como referencia el procedimiento descrito en NC ISO 5690-1 (2004), (Rutland, 1986) y IFDC (2016).

Materiales utilizados

- Tamices de los siguientes tamaños: > 4 mm; > 2 mm < 4 mm; > 1 mm < 2 mm; > 0.5 mm < 1 mm; > 0.25 mm < 0.5 mm; > 63 micra < 0.25 mm; < 63 micra.
- Balanza digital, marca AERN de precisión de 0.001 g.
- Vibrador de tamices marca KARL KOLB (Figura 1).



Figura 1. Vibrador de tamices utilizado para la determinación de la granulometría.

Para la realización del ensayo se pesaron 500 g del producto en la balanza digital. Después se depositó en el tamiz de 4 mm en el vibrador de tamices, los demás tamices fueron ubicados en orden decreciente del tamaño de la apertura del tamiz, el tamiz de mayor apertura fue situado en la parte superior. Luego de ubicado el material en el tamiz superior se procedió a poner a funcionar el vibrador durante cinco minutos. Después de terminado el paso del material por los tamices se recogió el producto presente en cada tamiz y se llevó a la balanza donde se pesó el contenido de cada tamiz y se obtuvo el porcentaje de cada tamaño de partícula.

Se determinó además, el número guía de tamaño del producto como el tamaño de partícula en mm al cual se retiene el 50% de las partículas (mediana), multiplicado por 100 y redondeado al múltiplo de cinco más cercano (IFDC, 2016).

Metodología utilizada para la determinación de la densidad aparente

La densidad aparente (kg m^{-3}) se determinó como la relación entre el peso de la muestra y el volumen ocupado por esta. Se depositó en la probeta la muestra del fertilizante,

se niveló el producto dentro de la probeta hasta obtener una superficie uniforme del material. Posteriormente se pesó la probeta con el material y después se le restó el peso de la probeta para obtener el peso neto de la muestra. Se realizaron tres repeticiones de este procedimiento y se obtuvo finalmente la media de la densidad aparente.

Metodología para la determinación de la humedad del fertilizante

La humedad se determinó por el método gravimétrico. Se tomaron 3 muestras del fertilizante y se pesaron en una balanza de precisión 1 g (peso suelo húmedo), posteriormente se secaron en una estufa a temperatura de 105° C, cuando su peso permaneció constante se pesaron y se obtuvo el peso del suelo seco. La humedad del suelo se obtuvo como la masa del agua (fracción líquida) entre la masa del suelo (fracción sólida) en porciento.

Metodología para la determinación del ángulo de talud o ángulo de reposo del material

Para la determinación del ángulo de reposo el material a utilizar se colocó al sol para su secado. Se colocó un embudo de 25 mm de diámetro sobre un soporte y desde este se vertió la muestra de fertilizante sobre una superficie plana. Se midió la altura del cono (H), se marcó el diámetro de la base del cono y se midió su longitud inclinada. El ángulo de reposo se obtuvo como la arcotangente de la altura del cono entre el radio (r) de la base del cono (Figura 2). Este ensayo se repitió tres veces y se obtuvo la media del ángulo de reposo.

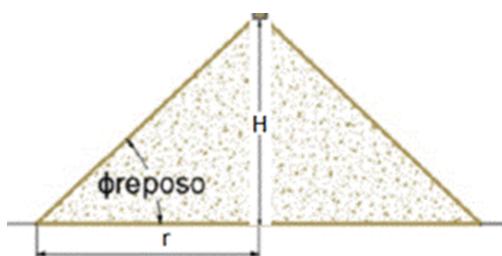


Figura 2. Esquema para la determinación del ángulo de reposo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Granulometría

La Figura 3 muestra la distribución granulométrica del fertilizante NEREA, como se aprecia la mayor parte de los granos, exactamente el 72.61% tienen dimensiones entre 2 y 4 mm. La NEREA no es un fertilizante químico ordinario, está constituido por zeolita con un 1,4 a 10% de un fertilizante NPK fórmula completa.

Rodríguez & Caisés (2023) refieren que la granulometría de NEREA está entre 1 y 4 mm, coincidiendo con los resultados encontrados aquí dado que el 94.32% de la granulometría del producto se encuentra en este intervalo. Estos autores plantean que este fertilizante no es hidrosoluble, dado que está formado principalmente por zeolita, material no soluble. Su utilización por la planta se basa fundamentalmente en las propiedades de la zeolita de

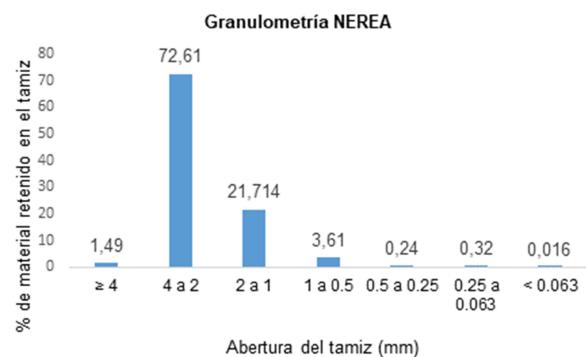


Figura 3. Granulometría del fertilizante NEREA.

retener agua y nutrientes que posteriormente son entregados de forma lenta a las plantas. Díaz *et al.* (2019) hacen referencia a que dimensiones del grano de la zeolita de tres milímetros junto con urea u otro fertilizante químico es la más efectiva para optimizar su eficiencia y el rendimiento de los cultivos.

La Figura 4 presenta los resultados de la granulometría de la AGROMENAS - G. Como se aprecia el 56.6% de los granos son menores de 1 mm, por lo cual se considera que tiene un tamaño de partícula fino. El efecto del tamaño del grano, sobre el nivel de aprovechamiento que hacen las plantas depende de factores como especie cultivada, propiedades del suelo, propiedades físicas del fertilizante o abono y tecnología utilizada para su aplicación (Guerrero, 2004).

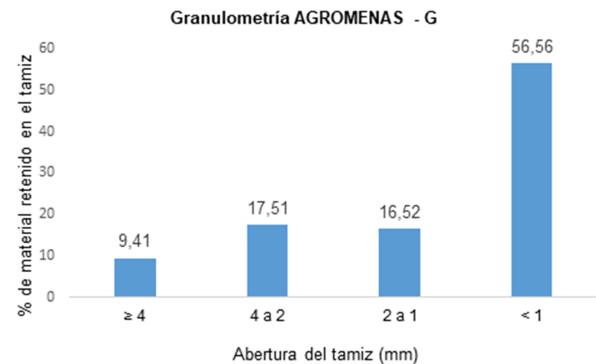


Figura 4. Granulometría del fertilizante AGROMENAS - G.

Esta distribución de las dimensiones del grano pudiera influir en la aplicación a voleo de la AGROMENAS - G, dado que tamaños de grano inferiores a un milímetro incrementan la desuniformidad de aplicación y disminuyen el ancho de trabajo cuando el producto se aplica a voleo (Carciochi & Tourn, 2017).

Carciochi & Tourn (2021) consideran que el principal factor que afecta la distribución de los fertilizantes sólidos y enmiendas es el tamaño del grano o la granulometría del producto. Las partículas de mayor tamaño de los fertilizantes son lanzadas por el órgano distribuidor a una mayor distancia, en comparación con las partículas más pequeñas. La fuerza centrífuga sobre las partículas es proporcional a la masa de las mismas.

El número guía de tamaño (SGN, por sus siglas en inglés) de la NEREA es 200 y el de la AGROMENAS - G es 100. El SGN es necesario para determinar la posibilidad de mezclado físico de los fertilizantes. Una gran diferencia en el SGN (superior al 20%), como la obtenida entre la NEREA y la AGROMENAS - G, que es de 50% hace que los fertilizantes sean incompatibles para la mezcla física. Diferencia superior al 20% en el SGN hace que los fertilizantes respondan de forma diferente a las fuerzas que actuarán sobre estos durante el almacenamiento, manipulación, transporte y aplicación. Las vibraciones y fuerzas que actúan sobre los diferentes tamaños de partículas, presentes en una mezcla física hará que se produzca segregación del material. Esto ocurre dentro de las tolvas de las fertilizadoras cuando se realiza la fertilización (Figura 5). Los granos de menor tamaño tienden a acumularse en la parte central y superior, mientras los de mayor tamaño lo harán en la base y en la parte externa de la pila. A mayor uniformidad del tamaño de partículas del producto, menor es la segregación al momento de aplicación, y por lo tanto se logrará una distribución del fertilizante más uniforme (Carciochi & Tourn, 2021).

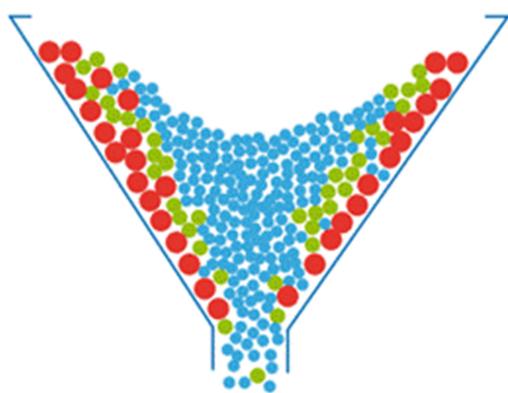


Figura 5. Segregación del fertilizante dentro de la tolva de la fertilizadora. Partículas más gruesas (rojas) quedan en las paredes de la tolva y las más pequeñas (azules) en el centro (Carciochi & Tourn, 2017).

Los fertilizantes granulados mezclados se aplican comúnmente utilizando espardidores de disco giratorio. La uniformidad de la distribución es fundamental, las máquinas para la aplicación con gestión específica para cada sitio utilizan sistemas guía basados en sistemas de navegación por satélite global que permiten que el equipo siga los mismos recorridos de campo a lo largo del tiempo. Sin embargo, la variación en las propiedades físicas de los componentes del fertilizante dificulta su dispersión uniforme, lo que conduce a la segregación, la cual impacta negativamente en la aplicación de precisión (Thaper et al., 2022).

Densidad aparente

La densidad aparente se define como el peso del producto por unidad de volumen a granel, generalmente se expresa

en kg m^{-3} . La densidad aparente es una medida de la densidad, porosidad y vacíos entre las partículas del material (IFDC, 2016).

La densidad aparente de NEREA fue de 1120 kg m^{-3} y la de la AGROMENAS - G fue de 1350 kg m^{-3} . La densidad aparente de la NEREA es superior a la media de las densidades aparentes de los fertilizantes granulados. Guerrero (2004) presenta las densidades aparentes de diez fertilizantes granulados, la NEREA tiene un valor superior a la mayoría de estos, como es el caso del nitrato de amonio "prill" (720 kg m^{-3}), urea "prill" (740 kg m^{-3}), sulfato de amonio (1060 kg m^{-3}), entre otros. Esto significa que para una misma regulación del mecanismo de distribución de las máquinas fertilizadoras el peso del material entregado de NEREA es superior al peso que la máquina entrega de los fertilizantes mencionados anteriormente. Por lo que habrá que hacer los cambios oportunos en la regulación de la máquina para asegurar la dosis establecida (kg ha^{-1}), esta consideración es válida para cualquier máquina fertilizadora.

La densidad aparente de la AGROMENAS - G es superior a la que obtuvo González-Cueto et al. (2023), en otro lote de AGROMENAS - G del mismo productor. La densidad aparente en ese trabajo se obtuvo de muestras que tenían el 49.91% de los granos con tamaños de partícula inferiores a 1 mm. La densidad aparente de los fertilizantes y demás productos granulados depende en gran medida de la granulometría del material, dado que la densidad aparente es una medida de la porosidad del material y los vacíos entre los poros del material (IFDC, 2016). Cuanto menor es el volumen de vacíos y mayor el número de contactos entre partículas, como es el caso de los materiales con menor granulometría, mayor es la densidad aparente.

La densidad aparente es importante durante la aplicación de fertilizantes con máquinas a voleo, dado que el fertilizante con menor densidad aparente es proyectado a menor distancia que el de mayor densidad. Para un mismo tamaño de partículas, las de mayor densidad son las que serán lanzadas a mayor distancia. La variación de la densidad aparente del fertilizante influye en la cantidad (peso kg) que será entregada por los distribuidores mecánicos o neumáticos, por lo que habrá que hacer los cambios oportunos en la regulación de la fertilizadora para obtener la dosis de aplicación requerida (kg ha^{-1}). La densidad aparente suele ser bastante estable en los distintos tipos de fertilizantes, en los nitrogenados está entre 850 y 950 kg m^{-3} , y en los de tipo compuesto NPK, NP, PK están entre 900 y 1200 kg m^{-3} (Márquez, 2011).

La humedad gravimétrica media de NEREA fue de 6.03% y la de AGROMENAS - G fue de 6.06%, similar entre ellos y a la presente en los fertilizantes de producción nacional como el NPK 11-5-14-3, el NPK 20-0-0, el NPK 5-5-24-3, el NPK 7-14-7, NPK 9-13-17 y el NPK 9-13-16, producidos por la Empresa EQUIFA de Cienfuegos, los cuales tienen 6% de humedad, la cual corresponde con la norma para este tipo de productos (GEIQ, 2024).

Durante el transporte, manipulación y aplicación de NEREA y AGROMENAS - G no se ha apreciado la presencia de grumos o de compactación del producto. La presencia de poca humedad y a la zeolita, material con mayor presencia en el fertilizante provocan que el material no se compacte.

Ángulo de reposo

El ángulo de reposo es la pendiente más pronunciada del material que cae libre, medida desde el plano horizontal en el que el material puede apilarse sin colapsar (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018). La media calculada del ángulo de reposo para NEREA, fue de 31.12° y para la AGROMENAS - G fue de 29.34°. Estos valores del ángulo en reposo se encuentran dentro del intervalo que para esta propiedad física muestra IFDC (2016), donde aparecen los ángulos de reposo de ocho tipos de fertilizantes. Los valores de este ángulo se encuentran, según esta publicación entre 27 y 41 grados. El ángulo de reposo de materiales granulares se utiliza en el diseño de equipos para el procesamiento y transporte de partículas granulares. En el transporte marítimo de productos granulares está relacionado con el desplazamiento de la carga que afecta la estabilidad transversal del buque. En el caso de las tolvas de las fertilizadoras el material con menor ángulo de reposo fluirá con mayor facilidad hacia los mecanismos distribuidores situados en el fondo de las tolvas.

El ángulo de reposo se utiliza como indicador de la fluidez de sólidos a granel, como polvos o granulados. Según la metodología utilizada para determinar el ángulo de reposo se pueden obtener diferentes valores de este ángulo (Al-Hashemi & Al-Amoudi, 2018). El método más común es dejar que el material se vierta libremente a través de un embudo, formando un montículo.

El ángulo de reposo es una propiedad importante al diseñar tolvas, silos y otros recipientes para el almacenamiento de semillas, alimentos a granel o polvos, ya que determina el llenado efectivo y, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento. Además, el ángulo de reposo determina si el grano fluirá por sí solo o si se requiere una fuerza externa para moverlo (Rosentrater & Bucklin, 2022). El ángulo de reposo muestra con cuanta facilidad un polvo o producto granulado fluye cuando se deja caer sobre una pila, es una medida de la fluidez del material. Cuanto menor es el ángulo de reposo mayor es la capacidad de fluir de este material. Al analizar la fluidez del material, según la tabla con la fluidez esperada en función del ángulo de reposo de diferentes materiales granulares (POWDERPROCESS, 2024), se aprecia que la AGROMENAS - G tiene una fluidez excelente, es decir fluye muy libre cuando es descargado en una pila. La fluidez de AGROMENAS - G es mayor que la de la NEREA.

CONCLUSIONES

Se determinaron las propiedades físicas del fertilizante en base a zeolita NEREA, encontrándose que tiene una granulometría donde el 72,61% del material tiene tamaños de partícula entre 2 y 4 mm, que la densidad aparente del material es de 1120 kg m⁻³, la humedad es de 6,03% y el ángulo de reposo de 31,12°.

Se determinaron las propiedades físicas del abono órgano mineral AGROMENAS - G, encontrándose que tiene una granulometría donde el 56,6% del material tiene tamaños de partícula inferiores a 1 mm, que la densidad aparente del material es de 1350 kg m⁻³, la humedad es de 6,06% y el ángulo de reposo de 29,34°.

AGRADECIMIENTOS

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba, bajo el código PN3602LH002-087.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-HASHEMI, H.M.B.; AL-AMOUDI, O.S.B.: "A review on the angle of repose of granular materials", *Powder technology*, 330: 397-417, 2018, ISSN: 0032-5910.
- CARCIOCHI, W. TOURN, M.: Fertilizantes y fertilizadoras. *Visión Rural*, XXIII, 21-27, 2021.
- CARCIOCHI, W. TOURN, M.: Características físicas de los fertilizantes y calibración de fertilizadoras. *Archivo Agronómico*, 16, 1-10, 2017.
- DÍAS, N.M.; NÚÑEZ, M.S.: "Evaluación agroindustrial del impacto de la zeolita en el cultivo de la caña de azúcar", *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 16(31), 2016, ISSN: 1683-8904.
- DÍAZ, H.J.; LIRIANO, R.; ABREU, E.O.: "Evaluación agronómica de fertilizantes de fórmula completa mezclados con zeolita natural en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum L.*)", *Centro Agrícola*, 46(1): 24-30, 2019, ISSN: 0253-5785.
- FERRÁN, H.; NÚÑEZ, M.S.: "La zeolita como mejorador de los suelos y cultivos", *INFOMIN*, 15: cu-id, 2023, ISSN: 1992-4194.
- GEIQ. Catálogo de productos y servicios. La Habana: Grupo Empresarial de la Industria Química, 2024.
- GONZÁLEZ-CUETO, O.; SALCERIO-SALABERRY, R.A.; AGUILA-ALCANTARA, E.; MERLÁN-MESA, G.; LÓPEZ-BRAVO, E.; MACHADO-DE ARMAS, J.: "Physical and Chemical Characterization of the Organ-Mineral Fertilizer Agromena-G", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(3): cu-id, 2023, ISSN: 2071-0054.

- GUERRERO, R.: "Propiedades generales de los fertilizantes sólidos: manual técnico", 2004.
- IFDC. *Manual for Determining Physical Properties of Fertilizer*, International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, 2016.
- MÁRQUEZ, L.: La tecnología en abonadoras de proyección. Parte 1. La uniformidad de distribución. *Agrotecnica*, 3, 38-44, 2011.
- MUÑIZ, U.O.; VEGA, G.D.; NÚÑEZ, M.S.: "Uso de la zeolita para incrementar la eficiencia del Nitrógeno: Use of zeolite for improving Nitrogen efficiency", *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(1): 81-86, 2024, ISSN: 2595-573X.
- NC ISO 5690-1. Máquinas agrícolas y forestales. Equipamiento para la distribución de fertilizantes. Métodos de ensayo. Parte 1: Distribuidores de fertilizantes a voleo (ISO 5690-1:1984, idt) La Habana: Oficina Cubana de Normalización, 2004.
- ONEI. *Anuario estadístico de Cuba 2023. Edición 2024*, Oficina Nacional de Estadísticas e Información, La Habana, 2024.
- OSUNA, E.S.; MARÍA, A.; PAREDES, R.; PADILLA, J.S.; BÁEZ, A.D.: "Eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea e inoculación micorrízica en el cultivo de trigo", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6): 1101-1113, 2012, ISSN: 2007-0934.
- PAREDES, R.; RAMÍREZ, A.; OSUNA, E.; ALAMILLA, P.; MANDUJANO, A.: "Zeolita Natural. Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporal en México", *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 2013.
- POWDERPROCESS. Ángulo de reposo: visión general [Online]. www.powderprocess.net/ES/Ángulo_De_Reposo.html [Accessed 29 de abril 2025], 2024.
- RODRÍGUEZ, G. CAISÉS, A.: NEREA Productos zeolíticos para la agricultura. La Habana: IMRE, Universidad de la Habana, 2023.
- RODRÍGUEZ, I.; PETRANOVSKII, V.; RIZO, R.; AGUILERA, L.: "Zeolitas naturales de diferentes yacimientos cubanos: composición y estabilidad química y térmica", *Revista Cubana de Química*, 23(1): 80-88, 2011, ISSN: 0258-5995.
- ROSENTRATER, K.A.; BUCKLIN, R.: "Structural, physical, and engineering properties of cereal grains and grain products", En: *Storage of Cereal Grains and Their Products*, Ed. Elsevier, pp. 135-178, 2022.
- RUTLAND, D.W.: "Manual for determining physical properties of fertilizer.", 1986.
- SOCA, M.; DAZA, M.C.: "Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura", *Agrociencia*, 50(8): 965-976, 2016, ISSN: 1405-3195.
- THAPER, R.K.; FULTON, J.P.; MCDONALD, T.P.; FASINA, O.O.: "Potential of fertilizer segregation during application using spinner disc spreader", *Precision Agriculture*, 23(1): 83-100, 2022, ISSN: 1385-2256.