

## Efecto de agrominerales en el crecimiento de casuarina y ocuje para rehabilitación minera del área 5 del Yacimiento Punta Gorda, Moa, Cuba

### Effect of Agrominerals on the Growth of Casuarina and Ocuje for Mine Rehabilitation in Area 5 of the Punta Gorda Deposit, Moa, Cuba

Daylen Cordero Samé\* [daylencarderosame@gmail.com](mailto:daylencarderosame@gmail.com) <sup>(1)</sup>

<https://orcid.org/0009-0003-4041-3299>

Giorvys Ramón Cuza Fernández [gcuza@ismm.edu.cu](mailto:gcuza@ismm.edu.cu) <sup>(1)</sup>

<https://orcid.org/0009-0007-7937-3502>

Gerardo Orozco Melgar [gorozco@ismm.edu.cu](mailto:gorozco@ismm.edu.cu) <sup>(1)</sup>

<https://orcid.org/0009-0002-1474-0953>

Carlos Alberto Leyva Rodríguez [cleyya@ismm.edu.cu](mailto:cleyya@ismm.edu.cu) <sup>(1)</sup>

<https://orcid.org/0009-0002-9156-5327>

Daliana María Arjona Mendoza [damendoza@ismm.edu.cu](mailto:damendoza@ismm.edu.cu) <sup>(1)</sup>

<https://orcid.org/0009-0007-2393-7794>

<sup>(1)</sup> Universidad de Moa, Moa, Cuba \* Autor para la correspondencia

**Resumen:** El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de agrominerales agregados al suelo laterítico para evaluar el crecimiento de los cultivos de casuarina (*Callophyllum antiullanum*) y ocuje (*Casuarina equisetifolia*), para la rehabilitación minera en el área 5 del yacimiento Punta Gorda, Moa. Se emplearon tres tratamientos (testigo, con materia orgánica y con agromineral) en dos medios de cultivo (bolsas y suelo laterítico), evaluándose la altura y el diámetro de las plantas durante 45 días. Los resultados mostraron que las posturas tratadas con agromineral presentaron un mayor crecimiento, destacando el ocuje en tierra con un incremento en altura y en diámetro respecto al testigo. Se concluye que la aplicación de agrominerales mejora significativamente el desarrollo de estas especies en suelos degradados por la minería, representando una alternativa viable para la rehabilitación de áreas mineras.

**Palabras claves:** erosión, fertilidad del suelo, gestión forestal, producto fitoquímico, recursos forestales

**Abstract:** The objective of this research was to determine the effect of agrominerals added to lateritic soil in order to evaluate the growth of casuarina (*Callophyllum antiullanum*) and ocuje (*Casuarina equisetifolia*) crops for mine rehabilitation in Area 5 of the Punta Gorda deposit, Moa. Three treatments were applied (control, organic matter, and agrominerals) in two cultivation media (bags and lateritic soil), assessing plant height and diameter over a 45-day period. The results showed that seedlings treated with agrominerals exhibited greater growth, with ocuje in soil standing out due to its increase in height and diameter compared to the control. It is concluded that the application of agrominerals significantly improves the development of these species in soils degraded by mining, representing a viable alternative for the rehabilitation of mining areas.

**Keywords:** erosion, soil fertility, forest management, phytochemicals, forest resources

## 1. Introducción

Las labores mineras a cielo abierto en los yacimientos de menas de níquel, hierro y cobalto, formados en la corteza de intemperismo causan un fuerte impacto en el área donde se realizan y en su entorno circundante. Para extraer la materia prima mineral, es obligatorio remover toda la corteza donde se asienta la vida animal y vegetal, las cuales son severamente afectadas (Torres *et al.*, 2021; Perdomo-Millán, 2023). Es por ello que el proceso de rehabilitación en áreas degradadas por la explotación minera debe ser concebido paralelamente al proyecto de explotación del yacimiento minero (Torres *et al.*, 2019).

Autores como Suntasig-Negrete *et al.* (2024) señalan que una estrategia para la restauración de suelos degradados por actividades mineras es el uso de especies forestales, nativas o exóticas, especialmente cuando se combina con otras técnicas de revegetación y manejo. Valois-Cuesta *et al.* (2022), Márquez-Huitzil *et al.* (2022), Couic *et al.* (2022), Abella-Sanclemente *et al.* (2023) y Cuza Fernández *et al.* (2024) han validado la restauración ecológica para revegetar suelos degradados por la minería.

Los recursos de rocas y minerales industriales tienen una amplia utilización en diversas ramas de la industria. Ellos poseen además una extensa distribución sobre la superficie de la tierra, siendo un factor esencial en el desarrollo y en la fertilidad del suelo (Martínez-Bring *et al.*, 2025).

Según Zhang *et al.* (2017) los agrominerales pueden proporcionar nutrientes esenciales para las plantas. Algunos agrominerales se producen de forma natural o se pueden procesar

para utilizarlos como fertilizantes alternativos o enmiendas del suelo. Orozco Melgar & Cuza Fernández (2022) definen el agromineral como un beneficiador que se añade al suelo para influir positivamente en su estructura, en sus características físico-químicas y en su fertilidad, ya que contienen propiedades que ayudan a la retención de humedad, la reducción de la pérdida de nutrientes, la regulación del pH de los suelos ácidos y la distensión de los suelos compactos y duros.

El yacimiento Punta Gorda es explotado por la Empresa Productora de Níquel Ernesto Che Guevara, la cual emplea la tecnología carbonato-amoniaca para obtener óxido de níquel (Rojas-Purón *et al.*, 2025). Sus zonas explotadas generan impactos negativos en el entorno, reconocidos por Aguilera Fernández *et al.* (2016) quienes proponen, entre otras medidas de mitigación de impacto, el uso de pantallas naturales, en especial de vegetación.

Dentro de las problemáticas más notorias en el proceso de rehabilitación minera en el yacimiento Punta Gorda se encuentra el pobre desarrollo de las plantas debido a la acidez del sustrato laterítico y la pérdida de nutrientes y de materia orgánica producto de la actividad minera. En este escenario los agrominerales se conciben como una estrategia prometedora para el proceso de rehabilitación de áreas degradadas por la minería.

Las plantas propuestas para la fase experimental de la investigación son la casuarina y el ocuje debido a su resistencia demostrada (Villaseñor Araiza & Rutiaga Quiñones, 2000; Álvarez de Zayas, 2023). La casuarina es una especie valiosa para la rehabilitación de tierras degradadas debido a su capacidad para la fijación de nitrógeno y a sus altas tasas de producción de hojarasca, lo que facilita el desarrollo temprano de la microflora, microfauna y comunidades de insectos, y aumenta la disponibilidad de nutrientes (Geigel 1977; Parrotta, 1993). Herrero *et al.* (2009), Torres *et al.* (2021) y Torres & Rodríguez (2022) han reportado el uso de la casuarina para la rehabilitación de zonas dañadas por la minería con resultados promisorios.

Manzanares *et al.* (2005) clasifican al ocuje como un árbol apto para la repoblación forestal por ser portador de atributos positivos en su evaluación. Ortiz-Alba *et al.* (2024) lo señalan como una de las especies de mayor índice de importancia ecológica de la región. Otros estudios refieren su eficacia para la rehabilitación de zonas dañadas (Begué-Quiala *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto de agrominerales agregados al suelo laterítico del área 5 del yacimiento Punta Gorda, sobre el crecimiento de los cultivos de casuarina y ocuje para el uso de estas especies en la rehabilitación minera.

### **1.1. Ubicación geográfica del yacimiento**

El yacimiento Punta Gorda limita al norte con el océano Atlántico y con la parte baja del curso del río Moa, al sur por la línea convencional que lo separa de los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca, por el oeste está limitado por el río Los Lirios y el cañón del río Moa y por el este se separa del yacimiento Yagrumaje Norte por el río Yagrumaje.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Diseño experimental**

Se implementó un diseño experimental de parcelas subdivididas en bloques al azar con dos factores en estudio: tipo de tratamiento y medio de cultivo. Los tratamientos evaluados fueron:

T1: Testigo (solo sustrato laterítico)

T2: Aplicación de materia orgánica

T3: Aplicación de agromineral

Los medios de cultivo considerados fueron:

-Bolsos

-Tierra directa (vivero)

El proceso de obtención del agromineral se desarrolló según la metodología propuesta por Cuza Fernández (2023).

Los resultados se tabularon y fueron analizados por el método descriptivo. Para analizar los resultados entre los diferentes aspectos medidos se empleó el método de Tukey para realizar las comparaciones de los parámetros establecidos: altura y diámetro.

### **2.2. Toma y preparación de muestras del sustrato del área número 5 del yacimiento Punta Gorda**

Se tomaron 50 muestras del área degradada con una aproximación de 3 m de distancia una de la otra. Para la toma de las muestras se utilizó el método de zig zag y se excavó

hasta una profundidad de 30 cm. Las muestras se cuartearon y homogenizaron formando 3 partes iguales.

### 2.2.1. Proceso de obtención del agromineral

Para la obtención del agromineral se utilizó un proceso de intercambio iónico de la toba zeolitizada con el residual amoniacal. Se mezclaron las tobas zeolitizadas con el licor residual por un tiempo de dos horas, a temperatura ambiente, para propiciar el intercambio catiónico. La granulometría de las tobas zeolitizadas fue de 1- 3 mm, según lo recomendado por Soca & Daza-Torres (2016) para su empleo en la agricultura. Se agregó el licor residual a un tanque lleno de tobas zeolitizadas de forma tal que el líquido sobrenadara a las tobas 1-2 cm por encima. Por cada kilogramo de toba zeolitizada se requiere 1,1 litro del licor residual amoniacal. Después de transcurridas dos horas se drenó el licor y se tomó una muestra del líquido residual.

Una vez secadas al aire, las tobas zeolitizadas se mezclaron en proporción 1:1 en masa con tobas vitroclásticas, que se obtuvieron en la zona de El Picao, localizada a 10-15 km de la ciudad de Sagua de Tánamo, en la plancheta topográfica 5177-I, a escala 1:50 000, dentro de los límites determinados por las coordenadas Lambert del sistema Cuba Sur.

### 2.3. Materiales utilizados

Se utilizaron tobas vítreas, tobas zeolitizadas, el residual amoniacal del proceso CARON, las calcilutitas y el sustrato del área 5 del yacimiento Punta Gorda.

Como fuente de amonio se empleó el residual amoniacal resultante del proceso de obtención del níquel en la fábrica Ernesto Che Guevara, cuyo análisis químico se realizó en el Centro de Investigaciones del Níquel de Moa, empleándose la metodología propuesta por Cuza-Fernández (2023).

En la tabla 1 se muestra la composición del residual utilizada en la investigación y en la Tabla 2 el contenido de níquel, cobalto y amonio.

Tabla 1. Composición química del residual amoniacal de la empresa Che Guevara

| NH <sub>3</sub>   | Ni         | Co            | Fe            | Mn           |
|-------------------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1,500 a 2000 mg/L | 30-40 mg/L | 0,25-0,3 mg/L | 0,1-0,15 mg/L | 0,6-0,7 mg/L |

Tabla 2. Análisis del contenido de Ni, Co y amonio en el residual amoniacal de la empresa Che Guevara

| mg/L | Ni | Incert | mg/L | Co | Incert | mg/L   | NH <sub>3</sub> | Incert |
|------|----|--------|------|----|--------|--------|-----------------|--------|
| 5,00 | ±  | 0,69   | 1,00 | ±  | 0,340  | 1951,6 | ±               | 111    |

Las tobas zeolitizadas empleadas en el presente trabajo provienen del yacimiento San Andrés y su composición química puede apreciarse en la tabla 3 (Almenares, 2011).

Tabla 3. Composición química de una muestra de toba zeolitizada del yacimiento San Andrés

| Óxido | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | PPI   |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|-------|
| %     | 65,55            | 0,276            | 11,75                          | 1,43                           | 2,824 | 0,947 | 1,376             | 1,677            | 14,15 |

Las tobas vitroclásticas contienen elementos químicos de gran aplicación en el sector agrícola. Su contenido de magnesio, hierro, potasio y calcio avalan su accionar en el mejoramiento de los suelos para potenciar el desarrollo de los cultivos (Tabla 4). La granulometría utilizada fue de 0,1 a 0,8 mm (Almenares, 2011).

Tabla 4. Composición química de una muestra de toba vitroclástica de El Picao

| Óxido | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | PPI  |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|------|
| %     | 60,86            | 0,49             | 13,63                          | 4,58                           | 5,34 | 2,64 | 1,87              | 2,27             | 8,83 |

La tabla 5 muestra las características de las calcilutitas empleadas en la investigación.

Tabla 5. Caracterización geológica de las calcilutitas de la región de Yaguaneque

| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | K <sub>2</sub> O | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|
| 1,34                           | 0,04             | ND                             | ND               | 3,02             | 1,77                           | 52,22 | 0,15             | 1,34                           |

## 2.4. Metodología seguida para el experimento con agromineral

1. Se utilizaron bolsos de 6 kg de masa donde se mezclaron 4 kg de escombro con 1 kg de calcilutitas para la regulación de la acidez del sustrato.
2. Se formuló el agromineral a partir de las tobas zeolitizadas cargadas más tobas vitroclásticas en proporción uno a uno.
3. Se agregaron en la base de cada bolso 4 kg de sustrato laterítico mezclado con el material calcáreo luego un 1 kg del agromineral.
4. Se plantaron las posturas sobre el agromineral y se completó el bolso con la mezcla de escombro más calcilutitas nuevamente.
5. Se plantaron dos posturas de casuarina y ocuje como testigos en suelos lateríticos para poder comparar el comportamiento y desarrollo y dos posturas con materia orgánica de casuarina y ocuje con el mismo fin.
6. Se repitió el procedimiento por el método de siembra directa al suelo con las mismas características y condiciones.

El tamaño de la muestra en bolsos y sembradas directo al suelo son seis de cada diseño específicamente dos para cada experimento (dos con agromineral, dos con materia orgánica y dos con sustrato no tratado).

## 2.5. Características de las plantas

Se escogieron las especies ocuje (*Calophyllum antillanum*) y Casuarina (*Casuarina equisetifolia*) por las características señaladas por Urbino Rodríguez *et al.* (2019).

### Ocuje

- Tolera suelos ácidos, pobres en nutrientes y con alta toxicidad por metales (como suelos lateríticos post-mineros).
- Alta resistencia a la sequía y a condiciones de estrés hídrico.
- Crecimiento moderadamente rápido en condiciones favorables, pero lento en suelos degradados.

### Casuarina

- Crece en suelos pobres, arenosos, salinos y ácidos, incluso en áreas con alta contaminación.
- Extremadamente tolerante a la sequía, vientos fuertes y suelos baja fertilidad.
- Crecimiento muy rápido en condiciones adversas, lo que hace ideal para la rehabilitación minera temprana.

## 3. Resultados de la investigación

### 3.1. Resultados de los análisis químicos del sustrato

La tabla 6 muestra los resultados de laboratorio de la composición química del licor antes y después de ser tratado con zeolita.

Tabla 6. Composición química del licor inicial y del licor tratado con zeolita. Los contenidos están expresados en mg/l

| Licor                     | S    | Ca   | Ni//Incert | Co//Incert  | NH <sub>3</sub> //Incert |
|---------------------------|------|------|------------|-------------|--------------------------|
| Licor inicial             | 1.06 | ---- | 7.46±1.0   | 1.48±0.50   | 2346±134                 |
| Licor tratado con zeolita | 1.05 | 9.64 | 0.52±0.071 | 0.110±0.037 | 537±31                   |

Métodos de análisis:

UPL-PT-G-09 Determinación de azufre total. Método gravimétrico.

UPL-PT-A-25 Determinación de Cd, Ca, k, Na, Mo, Sn, Se, Be, en muestras de agua.

Método de EAA:

UPL-PT-A-11 Determinación de Ni, Co, Fe, Cu, Zn, Mg, Al, Cr, Si, V, Pb. Método de espectrofotometría de absorción atómica.

UPL-PT-V-15 Determinación de amoníaco destilado. Método volumétrico.

Las tobas zeolitizadas a partir del intercambio catiónico lograron remover la concentración de  $\text{NH}_3$  de 2346 mg/l a 537 mg/l confirmando su eficiencia como material adsorbente y su capacidad para la captación de cationes amónicos. La zeolita contribuye a purificar el residual de la industria, lo transforma en un recurso útil para la rehabilitación de áreas degradadas por la minería.

En la tabla 7 se muestran los contenidos de níquel y hierro presentes en el escombros retirado del yacimiento. Predominan en el escombros las bajas concentraciones de níquel en ferrosa fuera del balance (FF), ferrosa de balance (FB) y lateríticas fuera de balance (LF). Por otra parte, se evidencian las altas concentraciones de hierro por encima del 20 % y hasta el 35 %.

Tabla 7. Clasificación por tipo de mena para los horizontes lateríticos

| Horizonte        | Tipo de mena                 | Símbolo | % Ni Límite                | % Fe Límite              |
|------------------|------------------------------|---------|----------------------------|--------------------------|
| Del<br>Escombros | Ferrosa fuera del balance    | FF      | $\text{Ni} < 0.7$          | $20 \leq \text{Fe} < 30$ |
|                  | Ferrosa de balance           | FB      | $\text{Ni} < 0.7$          | $\text{Fe} \geq 30$      |
|                  | Lateríticas fuera de balance | LF      | $\text{Ni} < 0.7 \leq 0.9$ | $\text{Fe} \geq 35$      |

El horizonte de escombros del yacimiento Punta Gorda presenta una composición química dominada por óxidos de hierro, lo que refleja su origen laterítico. También contiene altos contenidos de alúmina junto con cantidades menores de óxido de titanio, magnesio y calcio. El níquel y el cobalto están presentes en proporciones variables según el tipo de mena. Además, se detectaron trazas de cromo y azufre. Esta composición evidencia un perfil típico de lateritas ricas en hierro y aluminio, con heterogeneidad en la distribución de metales.

### 3.2. Evaluaciones del crecimiento en cuanto a diámetro y altura de las posturas de ocuje y casuarina

Se realizó un diagnóstico inicial de las plantas luego de sembradas en cuanto a altura y diámetro para realizar las comparaciones previas en los intervalos de tiempo correspondientes a los 45 días (Tabla 8).

Tabla 8. Diagnóstico inicial de las plantas

| Posturas             | Nombre    | En bolso    |               | En tierra   |               |
|----------------------|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                      |           | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Altura (cm) | Diámetro (mm) |
| Testigos             | Ocuje     | 23          | 5             | 17.5        | 4             |
|                      | Casuarina | 20          | 2.5           | 18          | 2             |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 24          | 4             | 25          | 4             |
|                      | Casuarina | 22          | 2             | 16          | 2             |
| Con agromineral      | Ocuje     | 24          | 4.5           | 22          | 4             |
|                      | Casuarina | 16.5        | 2.5           | 17          | 2             |

La tabla 9 muestra el desarrollo de las plantas sembradas en las tres variantes (testigo, materia orgánica y agrominerales), transcurridos 15 días. Los cambios más significativos se evidenciaron en las plantas cultivadas con el agromineral las cuales lograron mayor altura y mayor diámetro de tallo. Además, se pudo visualizar en las plantas de ocuje un mayor follaje y una alta concentración del color verde en sus hojas.

Tabla 9. Diagnóstico de las plantas a los 15 días se sembradas

| Posturas             | Especie   | En bolso    |               | En tierra   |               |
|----------------------|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                      |           | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Altura (cm) | Diámetro (mm) |
| Testigos             | Ocuje     | 24.6        | 6             | 19.5        | 4             |
|                      | Casuarina | 28.2        | 3             | 23.5        | 3             |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 24.5        | 5             | 27.5        | 5             |
|                      | Casuarina | 35          | 3             | 20          | 2             |
| Con agromineral      | Ocuje     | 26.5        | 5             | 28          | 7             |
|                      | Casuarina | 26          | 3             | 21.5        | 2             |

A los 30 días, las plantas tratadas con agromineral mostraron un crecimiento sostenido en altura, especialmente el ocuje en tierra. El diámetro del tallo también presentó mejorías, destacándose el ocuje con agromineral en tierra. Las casuarinas sembradas en bolsos con materia orgánica registraron el mayor crecimiento en altura, pero con menor desarrollo del diámetro (Tabla 10).

Tabla 10. Diagnóstico de las plantas a los 30 días se sembradas

| Posturas             | Especie   | En bolso    |               | En tierra   |               |
|----------------------|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                      |           | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Altura (cm) | Diámetro (mm) |
| Testigos             | Ocuje     | 25.8        | 6             | 22.3        | 5             |
|                      | Casuarina | 38.5        | 4             | 26.7        | 4             |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 29.4        | 5             | 29.4        | 6             |
|                      | Casuarina | 49.1        | 3.5           | 22.1        | 3             |
| Con agromineral      | Ocuje     | 28.2        | 5.1           | 31.2        | 7.5           |
|                      | Casuarina | 33.5        | 3.3           | 26.6        | 2.5           |

A los 45 días, el ocuje con agromineral en tierra alcanzó la mayor altura y el diámetro más notable confirmando la eficacia del tratamiento. La casuarina con materia orgánica en bolso aumentó en altura, pero su diámetro fue menor. Los testigos mostraron un desarrollo

moderado, evidenciando la necesidad de enmiendas para optimizar el crecimiento en suelos degradados (Tabla 11).

Tabla 11. Diagnóstico de las plantas a los 45 días se sembradas

| Posturas             | Especie   | En bolso    |               | En tierra   |               |
|----------------------|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|
|                      |           | Altura (cm) | Diámetro (mm) | Altura (cm) | Diámetro (mm) |
| Testigos             | Ocuje     | 34.6        | 6.5           | 22.8        | 5.8           |
|                      | Casuarina | 48.5        | 5             | 31.9        | 5             |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 30.3        | 6             | 31.4        | 6.3           |
|                      | Casuarina | 65.4        | 5             | 31.7        | 3.2           |
| Con agromineral      | Ocuje     | 31.5        | 6             | 33.6        | 8             |
|                      | Casuarina | 42.5        | 4             | 37.9        | 4             |

Las tablas 12 y 13 muestran la evidencia que el agromineral mejora significativamente el crecimiento de plantas en suelos degradados, aunque su efecto es más notable en altura que en diámetro.

Tabla 12. Resumen del comportamiento desde la primera medición hasta la cuarta del ocuje y la casuarina en cuanto a diámetro y altura sembradas en bolsos

| Posturas             | Nombre    | 1 <sup>ra</sup> h | 2 <sup>da</sup> h | 3 <sup>ra</sup> h | 4 <sup>ta</sup> h | 1 <sup>er</sup> diámetro | 2 <sup>do</sup> diámetro | 3 <sup>er</sup> diámetro | 4 <sup>to</sup> diámetro |
|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Testigos             | Ocuje     | 23                | 24.6              | 25.8              | 34.6              | 5                        | 6                        | 6                        | 6.5                      |
|                      | Casuarina | 20                | 28.2              | 38.5              | 48.5              | 2.5                      | 3                        | 4                        | 5                        |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 24                | 24.5              | 29.4              | 30.3              | 4                        | 5                        | 5                        | 6                        |
|                      | Casuarina | 22                | 35                | 49.1              | 65.4              | 2                        | 3                        | 3.5                      | 5                        |
| Con agromineral      | Ocuje     | 24                | 26.5              | 28.2              | 31.5              | 4.5                      | 5                        | 5.1                      | 6                        |
|                      | Casuarina | 16.5              | 26                | 33.5              | 42.5              | 2.5                      | 3                        | 3.3                      | 4                        |

Tabla 13. Resumen del comportamiento desde la primera medición hasta la cuarta del ocuje y la casuarina en cuanto a diámetro y altura sembradas en tierra

| Posturas             | Nombre    | 1 <sup>ra</sup> h | 2 <sup>da</sup> h | 3 <sup>ra</sup> h | 4 <sup>ta</sup> h | 1 <sup>er</sup> diámetro | 2 <sup>do</sup> diámetro | 3 <sup>er</sup> diámetro | 4 <sup>to</sup> diámetro |
|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Testigos             | Ocuje     | 17.5              | 19.5              | 22.3              | 22.8              | 4                        | 4                        | 5                        | 5.8                      |
|                      | Casuarina | 18.0              | 23.5              | 26.7              | 31.9              | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
| Con materia orgánica | Ocuje     | 25.0              | 27.5              | 29.4              | 31.4              | 4                        | 5                        | 6                        | 6.3                      |
|                      | Casuarina | 16.0              | 20                | 22.1              | 31.7              | 2                        | 2                        | 3                        | 3.2                      |
| Con agromineral      | Ocuje     | 22.0              | 28                | 31.2              | 33.6              | 4                        | 7                        | 7.5                      | 8                        |
|                      | Casuarina | 17.0              | 21.5              | 26.6              | 37.9              | 2                        | 2                        | 2.5                      | 4                        |

Los gráficos de las figuras 1 y 2 muestran el crecimiento de las posturas de casuarina y ocuje plantadas en bolso y en tierra.

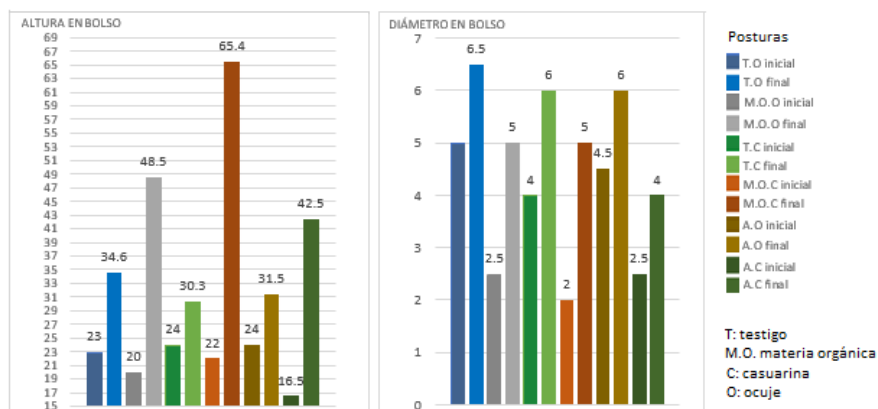


Figura 1. Gráficos de crecimiento de las posturas en bolso. a) Altura. b) Diámetro.

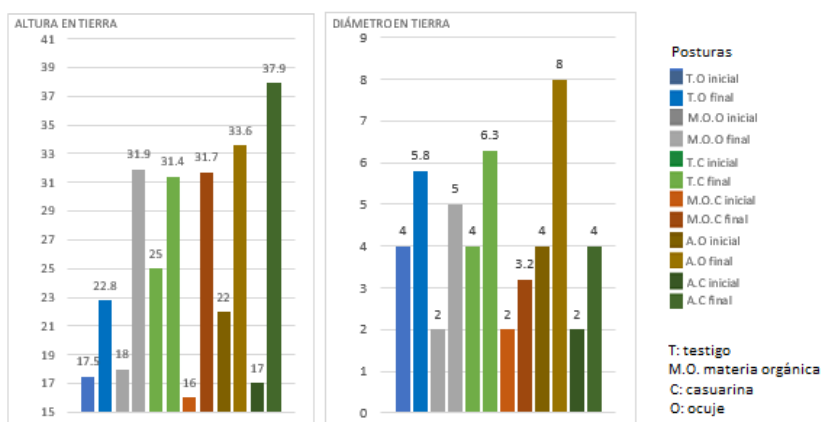


Figura 2. Gráficos de crecimiento de las posturas en tierra. a) Altura. b) Diámetro.

Se muestra que las posturas de ocuje y casuarina, tanto en bolso como en tierra, a las cuales se le aplicó agrominerales tienen un marcado crecimiento en cuanto a la altura. Para el diámetro no hay una marcada diferencia en ninguno de los tres experimentos en bolso, pero para el ocuje que se sembró en tierra y se le aplicó agromineral sí hay un desarrollo notable de 4 mm con respecto a los otros experimentos.

#### 4. Conclusiones

Se caracterizó física y químicamente el sustrato laterítico del área 5 del Yacimiento Punta Gorda. Se determinó que el sustrato presenta limitaciones químicas (acidez, baja fertilidad) y físicas (compactación) que justifican el uso de agrominerales para su rehabilitación.

Se evaluó el efecto del agromineral en el crecimiento de las plantas de casuarina y ocuje quedando demostrado que el mismo favorece su desarrollo en comparación con los testigos. La altura del ocuje sembrado en bolso con agromineral demostró un crecimiento de 7,5 mm

y en tierra 11,6 mm. Su diámetro sembrado en bolso manifestó un incremento de 1,5 mm y en tierra 4 mm. La casuarina plantada en bolso con agromineral aumentó 26 mm y sembrada en tierra 20,9 mm. El diámetro de la casuarina plantada en bolso aumentó 1,5 mm y sembrada en tierra 2 mm. Estos datos sugieren una mejoría inducida por el agromineral bajo condiciones experimentales sin embargo se requiere un mayor número de ensayos para generalizar.

Se reconoce que con la utilización del agromineral se favorece más la altura que el diámetro de las plantas de ocuje y casuarina.

### Referencias bibliográficas

- Abella-Sanclemente, C.S., Valois-Cuesta, H., & Polanco Puerta, M.F. (2023). El árbol acacia mangium (Fabaceae) facilita la recuperación de áreas mineras en la selva lluviosa del Chocó, Colombia. *Revista de Biología tropical*, 71(1), 742-767. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.50991>
- Aguilera Fernández, I., Batista Legrá, Y., Bastola, S., & Rojas Purón, L.A. (2016). Impacto visual generado por la explotación minera en el yacimiento Punta Gorda, Moa. *Minería & Geología*, 32(4), 141-159. [http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art10\\_No4\\_2016/742](http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art10_No4_2016/742)
- 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]. <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3507>
- Álvarez de Zayas, A.M. (2023). Propuesta de especies de árboles y arbustos para el arbolado urbano en Cuba. *Acta Botánica Cubana*, 222. <https://cu-id.com/2402/v222e12>
- Begué-Quiala, G., Delgado-Labañino, J.L., Hernández-Columbié, T. & Gámez-Diez, J. (2018). Restauración ecológica de sitios afectados por prospecciones mineras en la cuenca del Toa. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 19(1), 44-55. <https://www.iga.cu/wp-content/uploads/2022/05/5-restauracion-cologica.pdf>
- Chaviano, A., Cervantes, Y., & Pierra, A. (2011). Algunas consideraciones de rehabilitación minera en la minería del níquel: Municipio de Moa, Cuba. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 4(10), 10. <https://dialnet.unirioja.es/metricas/documentos/ARTREV/6417040>

- Couic, E., Tribondeau, A., Alphonse, V., Livet, A., & Bousserhine, N. (2022). Positive effect of ecological restoration with fabaceouss on microbial activities of former guyanese mining sites. *Molecules*, 27(6). <https://doi.org/10.3390/molecules27061768>
- Cuza Fernández, G.R., Orozco Melgar, G., Leyva Rodríguez, C.A., Medina Arce, M.M., & Pérez García, L.A. (2024). Agromineral innovador: transformando la agricultura y la rehabilitación minera en Moa. *Revista Forestal Baracoa*, 43. <https://cu-id.com/0522/v43e08>
- 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].
- Geigel, F.B. (1977). Materia orgánica y nutrientes devueltos al suelo mediante la hojarasca de diversas especies forestales. *Revista Forestal Baracoa*, 7(3-4), 15-38. <https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/viw/60>
- Herrero, G., Bruzón, N., Batista, K., & Herrera, P.P. (2009). Reforestación para la rehabilitación de terrenos degradados por la industria minera a cielo abierto en la región Nicaro-Mayarí, Holguín, Cuba. *Agricultura orgánica*, 15(3), 19-21.
- Manzanares, K., Velázquez, D., Sordo, L., Guyat, M.A., & Jiménez, M. (2005). Presencia de *Callophyllum antiullanum* (ocuje) britt en algunos territorios de la capital. *Revista Forestal Baracoa*, 24(1), 31-39. <https://forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/679>
- Márquez-Huitzil, R., Martínez Garza, C. & Osorio Beristain, M. (2022). Adoptar los objetivos de la restauración ecológica como meta crucial al mitigar desechos mineros: una propuesta metodológica. *Acta Botánica mexicana*, 129. <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2019>
- Martínez-Bring, L., Cuza-Fernández, G. R., Pérez-García, L., Leyva-Rodríguez, C. A., Orozco-Melgar, G.A., & Carballo-Peña, A. (2025). Evaluación de agrominerales y mejoradores de suelo para el cultivo de pepino y habichuela en el municipio de Moa. *Minería y Geología*, 41(1), 68-82. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2179>
- Orozco Melgar, G., & Cuza Fernández, G.R (2022). Aplicación del agromineral de tobas y residual amoniaco del proceso CARON en el organopónico Miraflores del municipio Moa. *Ciencia y Futuro*, 12(4), 497-511. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2220>

- Ortiz-Alba, Á., Sánchez-Fonseca, J., Alvarado-Ruffo, K., Viltrés-Barban, D., & Monroy-Reyes, B. (2024). Caracterización ecológica en la vegetación de ribera del río Toa. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 28(4), 14-24. <http://ciget.cigetgtmo.co.cu/revistahct/index.php/hct/article/view/1451>
- Parrotta, J.A. (2000). *Casuarina equisetifolia* L. ex J.R. & G. Forst. Casuarina, pino australiano. *Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*, 107. <https://research.fs.usda.gov/tresearch/download/2862.pdf#page=119>
- Perdomo-Milán, A. (2023). El desarrollo sostenible desde una gestión socioambiental y económica en la rehabilitación minera. *Minería y Geología*, 39(1), 55-64. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2316>
- Rojas-Purón, A.L., Simões-Angélica, R., Fernández-Martínez, L., & Salazar-Moreno, A. (2025). Caracterización de perfiles silicatados en el depósito laterítico de níquel de Punta Gorda, Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 41(1), 17-35. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1985>
- Soca, M. & Daza-Torres, M.C. (2016). Evaluación de fracciones granulométricas y dosis de zeolita para la agricultura. *Agrociencia*, 50(8), 965-976. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=302249305002>
- Suntasig-Negrete, E. R., Carrera-Sánchez, K. M., y Manobanda-Pinto, P. M. (2024). Impacto de especies forestales en la restauración de suelos de minería: Revisión sistemática. *Agroecología Global*, 6(11), 21-34. <https://doi.org/10.35381/a.g.v6i11.4197>
- Torres, Y. & Rodríguez Córdova, E. (2022). Las externalidades producidas en la minería a cielo abierto en yacimientos lateríticos y vías para su internalización. *Universidad y Sociedad*, 14(3), 589-596. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2903>
- Torres, Y., Rodríguez, R.G., & Reynaldo, C.L. (2019). Propuesta de un procedimiento para la rehabilitación minera en explotaciones a cielo abierto. *Minería y Geología*, 35(1), 17-30. [https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art2\\_No1\\_2019](https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art2_No1_2019)
- Torres, Y., Rodríguez, R.G., Reynaldo, C.L., & Rodríguez-Cabrera, M. (2021). Efecto de la aplicación de un procedimiento de rehabilitación minera con enfoque socioambiental y económico en Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 37(3), 347-358. [https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art7\\_No3\\_2021](https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/art7_No3_2021)

Urbino Rodríguez, J., Díaz Martínez, B., & Sigarreta Vilches, S. (2019). *Rehabilitación Ambiental Minera*. Feijóo.

Valois-Cuesta, H., Martínez-Ruiz, C., & Quinto-Mosquera, H. (2022). Revegetación natural de áreas afectadas por minería de oro en la selva del Chocó, Colombia. *Revista de Biología tropical*, 70(1), 742-767. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v70i1.50653>

Villaseñor Araiza, J.C., & Rutiaga Quiñones, J.G. (2000). La madera de *Casuarina equisetifolia* L. química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 6(1), 29-40. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611340>

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>

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

#### **Contribución de autoría según taxonomía CRediT**

**Daylen Cardero Samé:** Análisis formal de los datos/Validación/ Investigación/Redacción-Revisión y edición

**Giorvys Cuza Fernández:** Conceptualización/Administración del proyecto/Validación/Supervisión

**Gerardo Orozco Melgar:** Investigación/Validación

**Carlos Leyva Rodríguez:** Análisis formal/Metodología

**Daliana María Arjona Mendoza:** Curación de datos